This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

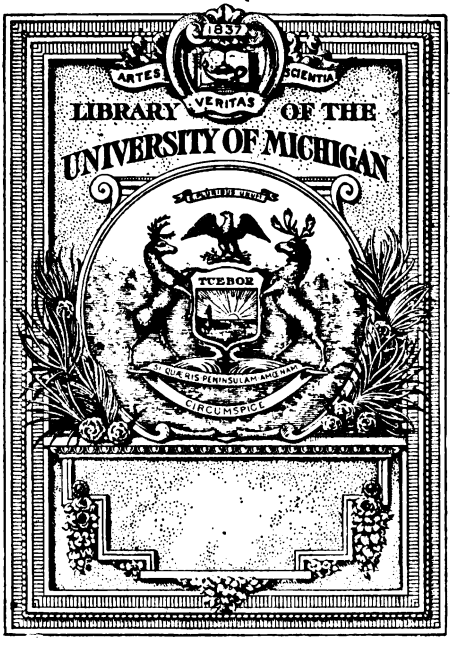
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUÆRIS PENINSULAM AMŒNAM
CIRCUMSPICE

QC
521
.B398

J. Pereira

TRAITÉ
DE L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

TOME V.

IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,
IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, N° 56.

TRAITÉ
EXPÉRIMENTAL
DE
L'ÉLECTRICITÉ
ET DU MAGNÉTISME,

ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES NATURELS ;

PAR M. BECQUEREL,
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT DE FRANCE, ETC.

.....Si quid novisti rectius istis,
Candidus imperti : si non, his utere mecum.

TOME CINQUIÈME.

PREMIÈRE PARTIE.

PARIS.
FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,
RUE JACOB, N° 56.

M DCCC XXXVII.

TRAITÉ EXPÉRIMENTAL
DE
L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

LIVRE XI.
DES ACTIONS LENTES.

CHAPITRE PREMIER.
DES CAUSES QUI EXERCENT UNE INFLUENCE SUR LES ACTIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES EN GÉNÉRAL.

§ Ier. *De l'influence des surfaces des corps de nature quelconque sur les effets électro-chimiques.*

1019. Avant d'exposer les effets produits dans la réaction lente les unes sur les autres, de plusieurs substances en contact, nous devons montrer l'influence qu'exercent leurs surfaces suivant l'état dans lequel elles se trouvent.

On sait depuis longtemps que lorsqu'on abandonne à elle-même la solution saturée d'un sel, les cristaux se déposent sur les parois du vase qui la renferme, ainsi que sur les corps étrangers qu'on y plonge, et particulièrement sur les arêtes. La force qui agit dans cette circonstance est la même que celle qui produit la capillarité et qui détermine dans l'éponge de platine, à la

température ordinaire, la combinaison de l'hydrogène avec l'oxigène, propriété qui n'appartient pas seulement aux métaux non oxidables, mais encore à des corps, tels que le charbon, la pierre-ponce, la porcelaine, le verre, etc., que l'on chauffe au-dessous de 350°. La configuration de ces corps influe tellement sur les résultats, que l'on trouve une différence très-notable entre les quantités d'eau formées dans le même temps avec des fragments de verre, selon qu'ils sont anguleux ou arrondis. En général, ces effets sont d'autant plus sensibles, que les corps ont des surfaces plus nettes; c'est ainsi que des lames de platine qui ont servi à des décompositions électro-chimiques, produisent, du moins la lame positive, des effets semblables, parce que la surface du métal a été décapée par l'action de l'acide transporté. C'est tellement là la cause du phénomène, que l'on fait acquérir au platine la puissance la plus forte en le traitant d'abord à chaud avec la potasse caustique, puis avec l'acide sulfurique et le lavant dans l'eau distillée.

Il résulte de là que les surfaces, comme les corps poreux, jouissent de la propriété de condenser les gaz, et de faciliter leur combinaison en détruisant la force élastique qui s'y oppose.

1020. Nous avons déjà fait connaître quelques expériences qui montrent de quelle manière cette même force intervient dans les phénomènes électro-chimiques; nous allons en citer d'autres qui jetteront quelque jour sur son influence.

On prend un tube de verre fermé par un bout, de 8 à 10 centimètres de long et de 1 à 2 millimètres de diamètre; on introduit dedans de l'oxide de cobalt calciné et réduit en poudre très-fine avec de l'eau, un fil d'argent et une dissolution d'hydro-chlorate de chrome, puis l'on ferme l'ouverture supérieure. Au bout d'une quinzaine de jours, on commence à apercevoir dans la partie inférieure, sur la paroi même du tube, de petites dendrites métalliques. La réduction de l'oxide ne s'opère réellement que dans la partie qui est en contact avec le

verre. Notons bien ceci, car c'est un fait qui montre l'influence des surfaces sur la réduction de l'oxide. Cet effet ayant également lieu sans la présence de l'argent, nous devons en conclure que l'action exercée par la paroi est déterminante. Dès lors les électricités contraires dégagées dans la réaction lente de l'oxide de cobalt sur l'hydro-chlorate de chrome, se recombinent en suivant la couche de liquide adhérente à la paroi du tube; il faut donc que la paroi inférieure se comporte comme le pôle négatif. C'est un fait que nous allons chercher à interpréter.

Quand un corps est plongé dans un liquide, il y a action exercée de l'un sur l'autre, c'est-à-dire, du solide sur le liquide. On a admis, et cette supposition est justifiée par les rapports qui existent entre les résultats du calcul et ceux de l'expérience, que cette action, en vertu de laquelle le liquide adhère au solide, ne s'exerce qu'à une distance infiniment petite de la paroi. Cela posé, les particules de la couche de liquide excessivement mince, qui est soumise à cette action, ne doivent pas être dans le même état que celles qui sont placées à une certaine distance; dès lors, on peut dire avec certitude que les propriétés électriques de cette couche ne doivent pas être précisément les mêmes que celles de la portion du liquide qui n'est pas soumise à l'influence des forces capillaires; or, quand un corps réagit sur une solution, l'un et l'autre en contact avec une surface, la portion de la solution en contact avec celle-ci n'étant pas dans le même état que l'autre, peut servir à opérer la recomposition des deux électricités dégagées dans la réaction. Si la solution se comporte comme un acide, la portion du tube, qui exerce une action sur cette même solution, doit se comporter comme le pôle négatif, et faciliter par conséquent la réduction de l'oxide de cobalt; c'est probablement là ce qui se passe dans l'expérience précédente.

1021. Quelques exemples montreront d'une manière assez remarquable l'influence des surfaces sur la production des phénomènes électro-chimiques.

On a mis au fond d'un tube fermé, du sulfure noir de mercure, une solution saturée de sel marin, et une lame de cuivre plongeant dedans et traversant le sulfure. Au bout de quelques mois, on a commencé à apercevoir sur la paroi intérieure du tube des points métalliques de mercure, qui ont pris avec le temps un tel accroissement que, six ans après, ils avaient de 1 à 2 millimètres d'étendue. Ils formaient des rudiments d'octaèdres réguliers; sur la lame, au-dessus du sulfure, il s'est déposé aussi des petits octaèdres de mercure, combiné sans doute avec un peu de cuivre. Ici l'influence exercée par les surfaces est manifeste, puisque la décomposition du sulfure a commencé dans les parties où il était en contact avec le verre.

Interprétons les effets produits : le tube étant fermé hermétiquement, le cuivre, au bout de peu de temps, quand tout l'air a été absorbé, a cessé d'être attaqué par le sel marin; d'un autre côté, le sulfure de mercure n'étant pas sensiblement soluble dans la solution de sel marin, il faut donc admettre que le sulfure exerce sur le cuivre, par l'intermédiaire du sel marin, une action chimique excessivement faible, mais capable de mettre en jeu les effets électriques qui opèrent sa décomposition. Le soufre se porte sur le bout inférieur de la lame de cuivre, se combine partie avec ce métal, partie avec l'oxigène de l'eau qui est décomposée, tandis que le mercure est transporté sur le bout supérieur de la même lame où les molécules se groupent, conjointement avec des molécules de cuivre provenant du sulfate de cuivre, pour former de petits octaèdres; tandis que ces effets ont lieu, les portions de sulfure en contact avec le verre sont décomposées, et forment des rudiments d'octaèdre d'une très-grande minceur. Ces cristaux paraissent avant que l'on commence à en apercevoir sur la lame de cuivre. Ainsi, l'action capillaire a assez de force pour retenir le mercure et lui faire perdre son état liquide.

Dans un tube renfermant de l'oxide d'argent, une

solution saturée de sel marin et une lame de plomb, on a observé des effets semblables, réduction de l'oxide d'argent sur la paroi du verre produisant une surface métallique unie et brillante, et formation d'un grand nombre de cristaux de double chlorure de sodium et de plomb.

On a placé dans un tube du carbonate de cuivre, une solution de chlorure de sodium et une lame de plomb; la partie supérieure s'est recouverte de cuivre métallique, le carbonate est devenu noir, c'est-à-dire, anhydre, et la partie adhérente au verre a commencé à se réduire en dendrites métalliques. La surface du plomb s'est recouverte aussi de cristaux, de double chlorure de plomb et de sodium et de carbonate de plomb. Nous pourrions citer d'autres faits à l'appui des précédents, pour montrer le genre d'influence qu'exercent les surfaces des corps sur les phénomènes électro-chimiques, même lorsque ces corps ne sont pas conducteurs de l'électricité. L'action qui a lieu dans ce cas est une action attractive du verre sur les éléments qui sont à l'état naissant, ou qui sont transportés par les courants.

§ II. *De l'influence de l'oxidation et de diverses causes sur les effets chimiques.*

1022. Les effets électro-chimiques éprouvent des variations sur des lames d'un métal facilement oxidable, toutes les fois que leurs parties superficielles ne sont pas dans le même état d'homogénéité. M. Sturgeon (1) a fait, à ce sujet, quelques observations qui nous serviront de guide.

L'hétérogénéité peut exister sur les surfaces métalliques, par suite de l'oxidation, qui n'a pas été la même sur tous les points, par la présence de corps étrangers qui y adhèrent, par l'écrouissage, le poli, et par d'autres causes dont il sera parlé ci-après. Il en résulte que

(1) Annals of Electricity, oct. 1836.

toutes les parties n'étant pas également attaquées, les effets électro-chimiques ne doivent pas être les mêmes.

Pour le prouver, on prend un petit vase de verre, rempli presque entièrement d'eau mêlée de quelques gouttes d'acide sulfurique et l'on introduit dedans un morceau de zinc, dont la surface est bien nette; si l'on regarde attentivement la surface, on voit que les points d'où s'échappe l'hydrogène sont peu nombreux; ce sont autant de pôles négatifs de très-petits couples voltaïques dont les pôles positifs sont placés alentour.

M. Sturgeon a exploré avec soin les surfaces avec un fil de cuivre et a trouvé que les effets produits étaient réellement électriques.

La position de ces points change fréquemment dans le cours de la dissolution du métal, en raison du dépôt d'oxide, de la texture du métal, du poli de sa surface, etc.

1023. On conçoit très-bien, d'après cela, pourquoi une lame de fer ou de zinc qui, avant d'être plongée dans l'eau, est polie, devient rugueuse après une longue immersion, car l'oxigène qui provient soit de l'eau, soit de l'air qu'elle renferme, se distribue inégalement sur les points de la surface qui n'étant pas également attaquables constituent autant de pôles positifs; les points qui forment les pôles négatifs n'éprouvant aucune altération restent tels qu'ils étaient d'abord. L'action chimique continuant, les pôles changent de position et il en résulte des inversions telles, dans leur nature électrique, que ceux qui étaient d'abord électro-négatifs deviennent électro-positifs et s'oxident à leur tour.

Cet effet s'observe également dans les actions brusques.

On peut expliquer maintenant pourquoi une surface rugueuse de zinc est plus sensiblement attaquée que lorsqu'elle est claire et unie. L'état rugueux annonce que les parties saillantes, par des causes quelconques, ont été moins attaquées que les parties profondes. Dèslors elles doivent constituer avec celles-ci des couples voltaïques

qui augmentent d'autant l'énergie de l'action chimique. D'un autre côté, quand la surface est lisse et unie, l'eau acidulée commence par réagir sur les parties où la force de cohésion est la moins forte, c'est-à-dire, dans le sens où le clivage est le plus facile; les parties saillantes commencent dèslors à se montrer et la surface devient rugueuse.

1024. M. Sturgeon a remarqué, comme M. Faraday, que le zinc trempé a des pôles plus puissants à sa surface que le zinc laminé, non-seulement dans les premiers instants de la réaction chimique, mais encore pendant tout le temps qu'elle s'exerce.

Le même physicien a rendu sensible de la manière suivante la différence d'action chimique qu'éprouvent les diverses parties d'une surface métallique.

Soit *a o b* (fig. 1) une lame de zinc recourbée, dont les deux bouts *a* et *b* plongent également dans une solution acide, et *n s* une aiguille aimantée, placée sur un pivot, comme l'indique la figure; les mouvements divers de cette aiguille et ses positions stationnaires accidentelles montrent que les courants électriques s'arrêtent quelquefois dans une direction et quelquefois dans une autre, pendant que le métal est attaqué par le liquide; ce qui est une conséquence du nombre, de la position et de l'énergie des pôles électriques distribués sur sa surface.

1025. M. Sturgeon (1) a appelé aussi l'attention des physiciens sur un fait très-remarquable dont nous devons nous occuper ici, et qui sert d'argument, il faut l'avouer, aux partisans de la force électro-motrice.

On sait que l'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique agit avec une certaine énergie sur une plaque de zinc; mais si la surface de ce métal est amalgamée, l'action est nulle ou à peine sensible. Si l'on vient à la toucher alors avec un fil de cuivre ou de platine, elle

(1) Nouvelles Recherches expérimentales, 1830, p. 74.

devient vive aussitôt; le zinc se dissout et l'hydrogène se dégage sur le fil, qui est le pôle négatif, du couple voltaïque. Pourquoi le mercure qui, dans son contact avec le zinc et l'eau acidulée, doit constituer également un couple voltaïque, ne produit-il pas un semblable effet? Il est difficile de répondre à cette question; nous essaierons cependant de le faire, après avoir passé en revue les phénomènes suivants, également très-remarquables, et qui ont quelque analogie avec celui dont nous venons de parler.

§ III. *Propriétés anomales du fer plongé dans l'acide nitrique.*

1026. Le fer possède la singulière propriété de ne pas être attaqué par l'acide nitrique dans lequel on le plonge, quand on l'a mis préalablement dans un état particulier que nous allons faire connaître. Cet état, qui est produit peut-être également sur d'autres métaux par des moyens que nous ignorons encore, doit être pris en considération dans l'examen des effets dus aux actions lentes.

Les phénomènes relatifs à la propriété anomale du fer ont été étudiés successivement par Bergman (1), Keir (2), M. Braconnot (3), Herschel (4), Schoenbein (5) et Faraday.

Lorsqu'on chauffe jusqu'au rouge une des extrémités d'un fil de fer, et qu'après son refroidissement on le plonge dans de l'acide nitrique d'une pesanteur spécifique de 1. 35, cette extrémité n'éprouve aucune action, tandis que le même acide agit avec force sur le fer non chauffé.

Un fil de fer oxidé peut servir à préserver un fil qui

---

(1) Trans. phil., 1790, p. 374.
(2) Ibid., p. 374, 379.
(3) Annales de Ch. et de Phys., t. LII, p. 286.
(4) Ibid., t. LIV, p. 87.
(5) Philos. Magaz., mars et août 1836.

ne l'est pas. On prend pour cela un fil dont un des bouts est oxidé, et on le met en contact avec un autre fil de fer ordinaire, puis on les introduit l'un et l'autre dans de l'acide d'une pesanteur spécifique de 1. 35, le bout oxidé le premier et une portion du couple se trouvant en dehors. Les deux fils n'éprouvent aucune action chimique : il en est de même quand on les sépare. Le second fil peut servir à rendre indifférent un troisième fil et ainsi de suite.

Un fil indifférent étant plongé dans de l'acide nitrique, de manière à laisser une portion de sa longueur dehors du liquide, ainsi qu'un autre fil sans préparation, celui-ci éprouve immédiatement une action vive; mais si l'on rapproche jusqu'au contact les bouts non immergés, le fil indifférent devient actif aussitôt, quelle que soit la longueur de chacune des parties immergées.

1027. Les expériences suivantes serviront à montrer jusqu'à quel point les effets électro-chimiques interviennent dans ces phénomènes. Si l'on plonge un fil de fer en tout ou en partie dans de l'acide nitrique et si, lorsque l'action est commencée, on le touche avec un fil de platine, l'action de l'acide sur le fer cesse aussitôt. La partie immergée devient brillante et n'éprouve aucun changement. L'effet est le même quand on substitue au platine un métal non oxidable, du charbon ou de la plombagine. Une petite surface de platine suffit pour annuler l'action de l'acide sur une large surface de fer. Il n'en est plus ainsi quand on touche le fer avec du cuivre, du zinc, de l'étain, du bismuth, de l'antimoine ou du plomb, il est attaqué aussitôt. L'acier se comporte comme le fer dans les expériences précédentes. Un fil d'acier plongé seul est d'abord attaqué, sa surface se recouvre d'une couche carbonacée, qui préserve non-seulement la partie immergée, mais celle qui ne l'est pas, quand on l'introduit dans le liquide. L'acide à 1. 399 n'agit pas sur les lames d'acier destinées aux ressorts de montres, même lorsqu'on élève leur température jusqu'à l'ébullition. Il n'en est pas de même de l'acier qui a reçu la trempe la

plus forte; il est attaqué avec une extrême violence avec l'acide chaud et avec assez de facilité par le même acide froid.

Lorsque le fer est dans un état d'inaction, on peut le conserver pendant 30 jours dans de l'acide nitrique, sans qu'il perde son brillant et sans que le métal soit attaqué le moins du monde.

Un couple de fer et platine entièrement plongé dans l'acide nitrique ne donne aucun effet quand on chauffe graduellement, mais lorsque l'acide commence à atteindre le terme de l'ébullition, le fer est attaqué et ne tarde pas à être dissous.

Le fer inactif conserve sa propriété quand on le retire de l'acide, qu'on l'expose à l'air, ou qu'on le plonge dans l'eau pure ou dans l'ammoniaque. Il devient actif dès l'instant qu'on frotte sa surface.

Quand on opère dans une capsule qui contient peu d'acide et que l'expérience est répétée à plusieurs reprises, l'acide devient incapable d'amener le fer à l'état inactif.

1028. Avant d'essayer d'expliquer la propriété singulière que prend le fer plongé dans l'acide nitrique, soumettons ce métal à différents essais, à l'aide d'une pile d'un petit nombre d'éléments.

Si l'on met un fil de platine en communication avec le pôle négatif et un fil de fer avec le pôle positif, et si l'on plonge les extrémités libres de ces fils dans de l'acide nitrique à 1. 35, l'extrémité de platine la première, le fer n'est point attaqué et ce métal est également indifférent dès l'instant qu'on arrête l'action de la pile.

Si l'on fait usage d'un acide contenant 20 fois son volume d'eau et même 400 fois, et que l'on ferme le circuit de la manière indiquée, l'oxigène qui se dégage au pôle positif et qui provient de la décomposition de l'eau, ne se combine pas avec le fer et s'y développe justement de la même manière que si on opérait avec du platine, c'est-à-dire, que son volume est dans le rapport de 1 à 2, avec la quantité d'hydrogène dégagée au pôle négatif.

Quand le dégagement d'oxigène s'effectue rapidement, si l'on fait toucher au fil de fer le fil négatif dans l'acide, ce dégagement de l'oxigène est arrêté, non-seulement pendant le contact, mais encore après que les fils ont été séparés. Il suffit de tenir quelques instants hors de l'acide le fil de fer pour lui communiquer la propriété de favoriser le développement du gaz oxigéné à sa surface. La production de l'oxigène a lieu également avec les acides sulfurique et phosphorique étendus, en fermant le circuit, comme il a été dit. Le dégagement de l'oxigène sur le fer, avec ces acides, s'arrête plus facilement et se rétablit avec plus de difficulté qu'avec l'acide nitrique. Avec une solution de potasse, on obtient de l'oxigène, quelle que soit la manière dont on ferme le circuit, mais il n'en est pas de même avec les solutions de chlorure, de bromure et d'iodure; l'oxigène qui provient de la décomposition de l'eau, ainsi que le chlore et le brome, se combine avec le fer.

L'argent, le cuivre, l'étain, le plomb, le cadmium, le bismuth, le zinc, le mercure ne présentent rien de semblable.

1029. Le fer rendu inactif, par les moyens indiqués, ne possède plus également le pouvoir de précipiter le cuivre et les métaux oxidables de leurs dissolutions respectives : si l'on prend un mélange à parties égales d'une solution de nitrate de cuivre et d'acide nitrique, et que l'on plonge dedans du fer à l'état ordinaire, il y a action immédiate et le cuivre est précipité; mais si le fer inactif est mis en communication avec une lame de platine plongeant, ainsi que lui, dans la solution préparée, il n'y a aucune action. Au bout de quelques secondes on peut enlever le platine; le fer reste pur et brillant pendant quelque temps, mais ensuite le cuivre commence à se précipiter et le fer est fortement corrodé.

Le fer et l'acier plongés dans une solution de nitrate d'argent, perdent le pouvoir de précipiter le cuivre de ses dissolutions.

1030. Voyons maintenant les effets électriques produits dans les divers phénomènes que présente le fer plongé

dans l'acide nitrique, quand il est actif ou non actif : employons à cet effet deux fils, l'un en fer, communiquant avec l'une des extrémités du multiplicateur à aiguilles compensées d'une sensibilité moyenne; l'autre en platine, en relation avec l'autre extrémité. Quand le fer est actif, le courant est des plus énergiques; lorsqu'il est inactif, le courant est encore sensible; sa direction est la même et son intensité est à peu près constante pendant plusieurs jours. Il produit à notre appareil une déviation de l'aiguille aimantée de 65°.

La production de ce courant nous indique une action chimique, faible à la vérité, de la part de l'acide sur le fer; et cependant la surface de ce métal reste claire et brillante! Nous avons pensé que la partie du fer qui est au-dessus du niveau de l'acide étant humectée par l'acide et soumise à l'action de l'air, il pouvait résulter de là un courant; mais il n'en est pas ainsi; car, ayant passé le fil de part en part dans un tube de verre, on a ramolli à la lampe l'un des bouts pour que le verre s'appliquât exactement sur le métal, et l'on a plongé dans l'acide le fil par le bout préparé; l'effet a été le même, quoiqu'il n'y eût plus d'oxidation. L'expérience suivante ne laisse aucun doute, au surplus, sur la production du courant dans le contact de l'acide nitrique et du fer, quoique la surface de ce dernier reste constamment brillante.

On a formé une pile avec trois éléments, composés chacun d'une lame de fer inactive, d'une lame de platine, d'un centimètre carré, et d'acide nitrique à 1. 35; à chacune des lames était attaché un fil du même métal, servant à établir la communication d'un couple à l'autre; à chacun des fils extérieurs on a fixé un fil de cuivre; les deux bouts libres ont été plongés dans une solution de nitrate de cuivre assez concentrée. Quelques heures après, le bout négatif présentait du cuivre, réduit, et le bout positif était oxidé. Ce résultat prouve évidemment le dégagement d'électricité dans chacun des couples qui composaient la pile.

1031. La propriété dont jouit le fer préservé est ana-

logue à celle que possède une lame de platine positive, qui a servi à décomposer l'eau avec la pile. Or, ne pouvant admettre dans ce cas que le platine ait été oxidé, il est probable que l'oxigène recouvre la surface dans toutes ses parties et qu'il s'en dégage peu à peu quand l'action de la pile cesse. Dans le fer préservé l'oxigène produit un effet analogue, sans qu'il y ait pour cela combinaison.

1032. M. Faraday (1) partage aussi cette opinion, tout en convenant que la cause qui préserve le fer de l'action de l'acide est difficile à apercevoir. Suivant ce célèbre physicien, lorsque le métal est inactif, les particules de sa surface sont entourées d'une couche d'oxigène, par suite de la préparation qu'on leur a fait subir, et se trouvent ainsi dans un rapport tel avec l'oxigène de l'acide, qu'elles résistent à son action. Cette fixation de l'oxigène sur la surface du fer ne constitue pas une oxidation, mais elle sert à établir entre le métal et l'acide un rapport semblable à celui qui résulte du contact du zinc et du mercure (1025), de manière à produire des effets analogues quand le fer plonge dans l'acide nitrique et le zinc amalgamé dans l'eau acidulée.

1033. M. Nobili, en cherchant à expliquer les couleurs produites sur les plaques métalliques, au moyen de l'action chimique des courants électriques, reconnaît l'existence d'un état moléculaire semblable à celui que nous venons d'indiquer, car il considère les couleurs d'oxigène et d'acide, qui produisent ces couches, comme adhérentes d'une manière permanente aux surfaces de platine, de fer, d'acier, etc., qu'il a employées dans ses expériences, sans cependant être en combinaison chimique avec les métaux.

Voilà tout ce que nous pouvons dire jusqu'ici, dans les limites des phénomènes électro-chimiques, sur les causes inhérentes aux surfaces métalliques qui peuvent exercer une influence sur les actions qu'elles éprouvent de la part des agents chimiques.

---

(1) Philo. magn., mars 1837.

CHAPITRE II.

DE DIVERSES CAUSES POUVANT DÉPENDRE D'EFFETS ÉLECTRIQUES QUI EXERCENT UNE INFLUENCE SUR LES ACTIONS CHIMIQUES.

§ Ier. *De l'influence que l'eau exerce sur un grand nombre de composés.*

1034. Dans toutes les actions lentes que nous allons exposer, l'eau jouant un certain rôle, soit en cédant aux corps en présence un de ses principes ou tous les deux, soit en servant de véhicule aux électricités dégagées dans les actions chimiques, nous devons examiner quelques-unes des circonstances où ce liquide exerce une action déterminante sur les phénomènes de décomposition et de recomposition.

On a observé depuis longtemps que l'acide sulfurique anhydre n'exerce aucune action sur le zinc, mais qu'il s'en manifeste une très-vive, dès l'instant qu'on y ajoute une goutte d'eau. Le cuivre éprouve une action semblable de la part de l'acide nitrique concentré, lorsqu'on y verse également une goutte d'eau. Il est difficile de supposer que cette petite quantité d'eau, qui détermine dans l'acide une vive effervescence, soit là uniquement pour contribuer à la formation d'un hydrate. Si nous voulons expliquer ce fait, en nous appuyant sur la théorie électro-chimique, nous dirons : Il faut toujours trois substances, dont une liquide au moins, pour produire un courant électro-chimique; or, quand le cuivre est plongé dans l'acide

nitrique concentré, on ne peut douter qu'il n'y ait déjà une action chimique, faible à la vérité; mais si on y ajoute une goutte d'eau, qui se répand aussitôt dans tout l'acide, la particule de ce liquide, qui se trouve en contact avec les particules acier et acide, sert à constituer un couple voltaïque, dont l'action contribue à activer l'effet chimique.

M. Pelouze, qui a étudié ce phénomène, a trouvé que l'acide nitrique très-concentré n'attaque pas sensiblement la couleur bleue du papier tournesol bien sec et ne réagit même pas sur la craie à l'aide de l'ébullition.

Il existe un bon nombre de faits analogues aux précédents.

1035. On doit rapporter à des effets du même genre la différence que présente l'intensité de l'action chimique de l'acide sulfurique sur le zinc, suivant que ce métal est très-pur ou mélangé. Le zinc pur, plongé dans de l'acide sulfurique étendu d'eau, est à peine attaqué dans les premiers moments, tandis que le zinc du commerce, placé dans les mêmes circonstances, produit une grande quantité de gaz. M. de Larive, qui a observé ce fait, a cherché à déterminer les circonstances qui influent sur la quantité de gaz hydrogène que peut produire, dans un temps donné, l'action qu'exerce sur le zinc l'acide sulfurique étendu d'eau.

Il résulte de ses expériences, que la proportion d'eau et d'acide sulfurique qui donne naissance, par son action sur le zinc, à la plus grande quantité de gaz hydrogène, est celle dans laquelle l'acide entre dans la solution pour 30 à 50 pour 100 en poids; que cette même proportion est celle qui est la meilleure conductrice de l'électricité; que la différence que l'on observe entre le zinc distillé et le zinc du commerce, sous le rapport de l'action qu'exerce sur eux l'acide sulfurique étendu d'eau, paraît provenir des substances étrangères qui sont mélangées avec le zinc du commerce, et particulièrement du fer qui s'y trouve toujours en plus ou moins grande quan-

tité; que l'influence de ces substances hétérogènes semble, d'après toutes les circonstances qui l'accompagnent, être due à un effet électrique qui résulte de leur contact avec les particules plus oxidables de zinc.

Il est inutile d'ajouter d'autres faits à ceux qui précèdent pour indiquer l'influence que l'eau exerce quelquefois sur certaines réactions chimiques.

§ II. *Des changements chimiques produits dans les corps par le frottement, la porphyrisation et la désagrégation.*

1036. Avant d'aborder l'importante question de la décomposition des roches et en général des corps qui se trouvent à la surface du globe, ou à peu de distance de cette surface, dans l'intérieur, nous devons reprendre une question que nous n'avons fait qu'indiquer (1), celle qui concerne les décompositions chimiques produites par diverses actions mécaniques simples, qui sont ordinairement accompagnées d'effets électriques que nous avons décrits.

Lorsqu'on clive un minéral quelconque régulièrement cristallisé non-conducteur de l'électricité, chaque surface séparée emporte avec elle un excès d'électricité contraire. Ce phénomène n'est soumis à aucune loi, puisque chaque face, semblablement placée par rapport à l'axe du cristal, ne prend pas toujours la même espèce d'électricité. Nous avons inféré de là que le clivage, ainsi que diverses autres actions mécaniques, qui donnent lieu à un dégagement d'électricité analogue, sont probablement accompagnés de décompositions chimiques.

Pour reconnaître s'il y a décomposition chimique, ou non, quand on clive un minéral, ou qu'on le soumet à la porphyrisation, il faut opérer sur des substances dont les éléments ne peuvent se combiner immédiatement

(1) Tome II, p. 75.

après leur séparation, tels que les silicates, les carbonates, etc.

Les éléments dont on a particulièrement à constater l'existence, sont des acides ou des alcalis; mais leur quantité est souvent si petite qu'il est nécessaire d'employer des réactifs très-sensibles.

Pour les alcalis, nous nous sommes servi de l'infusion de chou rouge, de bois de Campêche, du papier tournesol, légèrement rougi par un acide, et du papier curcuma; pour les acides, des mêmes infusions et du papier tournesol.

Les substances soumises à l'expérience ont été pulvérisées dans un mortier d'agate, lavées préalablement et à plusieurs reprises avec de l'eau distillée; puis placées avec une goutte d'eau sur le papier à réactif, ou projetées dans l'infusion.

On a observé depuis longtemps que le verre pilé dans un mortier d'agate verdit le sirop de violette, et que le nitrate d'ammoniaque trituré de la même manière avec le carbonate de chaux donne naissance à du carbonate d'ammoniaque qui se dégage et à du nitrate de chaux. Vauquelin avait aussi remarqué que la poussière de la stilbite et celle de l'amphygène, qui sont des silicates de potasse et d'alumine, verdissent fortement le sirop de violette à la manière des alcalis; que la topaze, qui ne renferme pas d'alcali, ainsi que le cristal de roche, qui est de la silice pure, jouit de la même propriété.

On savait également que le carbonate de chaux, tenu en dissolution dans l'eau, réagit comme les acides sur la teinture de tournesol, et comme alcali sur l'infusion de bois de Campêche. Ces exemples indiquent qu'on ne saurait trop se mettre en garde, quand on cherche à constater la présence des acides et des alcalis à l'aide des couleurs végétales, des changements que celles-ci éprouvent dans leur réaction sur divers corps. M. Chevreul a trouvé, par exemple, que les hydrates de magnésie, d'ytria, de glucine, de zircone et d'alumine, le protoxide de manganèse, etc., forment, avec l'hématine, des com-

binaisons bleues insolubles dans l'eau; ces corps se comportent donc comme des alcalis par rapport à la matière colorante. Le même chimiste a découvert aussi que les sels à base de potasse et de soude, dont l'acide est faible, agissent comme des alcalis faibles sur l'hématine et la font passer à un rouge légèrement pourpre.

Si l'on fait passer à travers un filtre de papier joseph une infusion de chou rouge ou de bois de Campêche, la première devient verte et la seconde violette. Ce changement de couleur, qui semble indiquer une réaction alcaline, nous avertit qu'il ne faut pas employer de papier joseph dans les expériences du genre de celles dont nous nous occupons, soit pour filtrer, soit pour essuyer les corps.

1037. Quand on met dans de l'infusion de chou rouge, préparée nouvellement, un cristal de spath d'Islande, du calcaire compacte ou cristallin, des concrétions calcaires poreuses, de la marne, de l'arragonite ou du spath d'Islande pulvérisé, tous ces corps verdissent plus ou moins rapidement l'infusion, à l'exception du premier qui ne lui fait éprouver aucun changement sensible dans l'espace de 24 heures. Il est probable que dans ce cas, la matière colorante exerce une action répulsive sur l'acide carbonique de la même manière que l'hématine agit sur les sels à base de potasse et de soude dont l'acide est faible. Ainsi on n'en peut pas conclure que le carbonate de chaux soit réellement alcalin. Dans nos expériences nous nous sommes mis en garde contre les effets que nous signalons, comme on va le voir.

1038. Si l'on porphyrise, dans un mortier d'agate, un cristal de mésotype, double silicate de soude et d'alumine, la poussière non-seulement donne la réaction alcaline, avec les infusions de chou rouge et de bois de Campêche, mais elle réagit encore sur le papier de curcuma, effet qui n'a lieu que lorsque l'alcalinéité est assez marquée; il est facile de prouver que l'effet produit est bien dû à l'alcali mis en liberté par l'effet de la trituration et non à l'action des matières colorantes sur la mé-

sotype; car il suffit de laver la poussière à plusieurs reprises, avec de l'eau distillée, pour lui enlever la propriété de réagir sur les couleurs végétales. Au surplus, si l'on verse quelques gouttes d'acide hydro chlorique dans l'eau et que l'on fasse évaporer et cristalliser, on obtient de petits cristaux de chlorure de sodium.

Le basalte, le feldspath et différentes laves qui renferment de la potasse ou de la soude, produisent les mêmes effets, quoiqu'à un degré différent; or, comme la porphyrisation de ces diverses substances est accompagnée de phosphorescence, signe indicateur d'effets électriques, on peut admettre que l'action mécanique suffit pour décomposer les corps dans certaines limites.

Le fer oligiste, plusieurs silicates non alcalins, le cristal de roche, différents quartz, le sulfate de baryte, etc., chauffés préalablement et lavés ensuite avec de l'eau distillée, ne donnent point la réaction après la trituration; on doit donc attribuer la réaction alcaline observée par Vauquelin à des corps étrangers adhérents à la surface du cristal de roche et contre lesquels il ne s'était pas mis en garde.

1039. La chaleur dégagée dans la porphyrisation n'intervient-elle pas pour opérer la décomposition que nous venons de signaler? Nous ne le pensons pas. Voici nos raisons : élevons jusqu'au rouge la température d'un fragment de mésotype, plaçons-le après le refroidissement sur un papier à réactif, avec une goutte d'eau; il ne se manifeste aucune réaction. Broyons-le ensuite, et après avoir lavé la poudre à plusieurs reprises avec de l'eau distillée, chauffons-la jusqu'à ce qu'elle commence à s'agglutiner; elle ne manifestera encore aucune réaction alcaline; mais il n'en sera plus de même en la triturant de nouveau; elle se comportera alors comme il a été dit ci-dessus.

1040. On facilite la décomposition des corps par la porphyrisation et le frottement, en leur présentant d'autres corps dont les éléments peuvent réagir sur les leurs, à la manière des doubles décompositions.

1041. Lorsque l'on broie dans un mortier d'agate, dont la surface est très-sèche, parties égales de carbonate de baryte et de sulfate de potasse chauffé préalablement au rouge pour en chasser l'eau interposée, il y a aussitôt réaction des deux sels l'un sur l'autre, formation de sulfate de baryte d'une part et de carbonate de potasse de l'autre, dont la quantité est suffisante pour rougir le papier de curcuma.

Si l'on triture ensemble, dans un mortier d'agate, du nitrate de plomb et de l'iodure de potassium, dans les proportions voulues pour que les deux sels se décomposent réciproquement, la décomposition s'effectue en quelques instants et l'on a pour résultat, d'une part, de l'iodure de plomb, et, de l'autre, du nitrate de potasse. Le sulfure d'argent porphyrisé avec le mercure est décomposé, il y a amalgamation de l'argent et formation de sulfure de mercure.

1042. Lorsqu'on passe rapidement un cristal de sulfate de potasse sur une plaque de calcaire, il y a aussitôt un indice de décomposition, d'où résulte formation de sulfate de chaux et de carbonate de potasse.

Si l'on soumet à la porphyrisation un fragment de pyrite de fer (proto-sulfure), du poids de quelques décigrammes, la poussière change immédiatement en vert la couleur bleue de chou rouge. En la lavant avec de l'eau distillée, celle-ci donne la réaction propre au proto-sulfate de fer.

Tous les faits que nous venons de rapporter prouvent que lorsqu'une substance se désagrège par une cause quelconque, il y a séparation d'une portion des éléments des molécules qui étaient en contact. Cette observation est d'une grande importance pour l'étude de la décomposition des roches sur laquelle les variations de température exercent une grande influence.

CHAPITRE III.

DES DOUBLES DÉCOMPOSITIONS, OU DÉCOMPOSITIONS SUCCESSIVES.

§ 1er. *De la formation des sous-sels.*

1043. Le principe des doubles décompositions est connu depuis longtemps en chimie; mais on n'a pas encore cherché à s'en servir pour expliquer les altérations qu'éprouvent certaines roches, par l'action d'eaux minérales chargées de sels alcalins, métalliques ou terreux, qui les traversent.

Les eaux minérales, en parcourant l'intérieur des montagnes, s'infiltrent à travers les roches, réagissent sur leurs éléments et nous apportent en dissolution les parties solubles, tandis que celles qui ne le sont pas, restent adhérentes à leur surface. Nous avons eu l'occasion de nous convaincre de l'effet de ces eaux dans plusieurs anciennes galeries de mine et dans les crevasses de plusieurs roches, notamment à Pontgibaud et à Vienne en Dauphiné. Les parois de ces galeries sont tapissées de cristaux assez gros de sélénite et de carbonate de chaux, bien que la nature des roches de ces contrées ne soit nullement calcaire; c'est en examinant avec soin ces formations modernes que nous avons eu l'idée de nous occuper de l'action des eaux minérales sur les roches.

1044. Il est nécessaire de présenter d'abord quelques développements sur les transformations successives que l'on fait subir à divers composés par le moyen des doubles

décompositions, pour arriver à former des composés semblables à ceux que l'on trouve dans la nature. Les doubles décompositions qui opèrent ces transformations, ont une puissance d'action dont on ne connaît pas encore toute l'étendue. Pour en donner une idée, prenons une dissolution saturée, ou non, de nitrate ou de sulfate de cuivre, peu importe, et plongeons dedans un morceau de craie, de calcaire grossier, ou du calcaire poreux; voici ce qui se passe avec la dissolution de nitrate de cuivre, par exemple : le sel métallique réagit peu à peu sur le calcaire, il lui cède une portion de son acide, en chasse l'acide carbonique, et de là résultent du nitrate de chaux, qui se dissout, et du sous-nitrate de cuivre insoluble, qui se dépose en petits cristaux verts aciculaires sur le calcaire; l'action continue dans l'intérieur. Il faut donc que par l'effet de deux courants, dirigés en sens contraire, le nitrate de cuivre pénètre dans les interstices, et que le nitrate de chaux et l'acide carbonique en soient expulsés.

Des morceaux qui sont restés un mois en expérience, ont été recouverts d'une couche de petits cristaux de sous-nitrate, d'un millimètre d'épaisseur. En opérant avec des cristaux de spath d'Islande, ou des morceaux de spath calcaire compacte, l'action n'est que superficielle, et il est probable qu'il faudrait un temps considérable pour que la masse fût entamée. En substituant au nitrate de cuivre le sulfate, on obtient un sous-sulfate cristallisé vert insoluble. Le chlorure de cuivre donne également le sous-chlorure cristallisé.

Si l'on veut accélérer la formation de ces sous-sels, on peut employer l'action de la chaleur; mais alors les cristaux sont moins nets.

1045. En soumettant au même mode d'expérience des sels à base de fer, particulièrement le proto-sulfate, on obtient un sous-sulfate concrétionné rubigineux, qui a de l'analogie avec celui que l'on trouve dans la nature; il se dépose en même temps une grande quantité de cristaux de sélénite.

1046. En examinant tous ces produits, on serait tenté de les regarder comme des minéraux, tant ils en ont l'aspect. Les sels à base de fer, et en général tous les sels métalliques qui ne sont pas capables de former les sous-sels, ne donnent aucun effet de ce genre. Nous examinerons plus loin leur action sur les roches calcaires ou autres.

Arrivons aux transformations successives.

§ II. *De l'action des bi-carbonates alcalins sur les sous-sels.*

1047. Lorsqu'on laisse séjourner un morceau de calcaire, dont la surface est recouverte de cristaux de sous-nitrate de cuivre, dans une solution de bi-carbonate de potasse étendue d'une ou de deux fois son volume d'eau, on ne tarde pas à s'apercevoir que ces cristaux prennent une teinte plus foncée et qu'ils se changent peu à peu en un double carbonate de cuivre et de potasse, qui cristallise en aiguilles. Dans la réaction lente du sous-nitrate sur le bi-carbonate, celui-ci cède une portion de son acide à l'oxide de cuivre; il en résulte un carbonate de potasse qui se combine avec le carbonate de cuivre.

Quant à l'acide nitrique, qui devient libre, il réagit immédiatement sur le carbonate de chaux en contact avec le sous-nitrate, il le décompose et forme un nitrate de chaux, qui est expulsé en même temps que l'acide carbonique. Aussitôt que ce nitrate est en contact avec le bi-carbonate alcalin, il s'opère encore une nouvelle décomposition, d'où résulte un carbonate de chaux, qui cristallise en très-petits rhomboïdes. La manière dont le carbonate de chaux est produit, indique son origine; car il forme des traînées tuberculeuses, dont le bout correspond toujours à un interstice du calcaire. La forme tuberculeuse est due au dégagement du gaz venu de l'intérieur avec la dissolution de nitrate de chaux, qui est décomposée immédiatement par le bi-carbonate.

Nous voyons donc qu'avec du calcaire poreux, tel que le calcaire grossier parisien, et des dissolutions de nitrate de cuivre et de bi-carbonate de potasse, on obtient successivement des cristaux de sous-nitrate de cuivre, de double carbonate de cuivre et de potasse, et des cristaux rhomboïdaux de carbonate de chaux.

1048. Poursuivons les transformations, pour arriver au carbonate hydraté de cuivre. Si, après avoir retiré de la dissolution du bi-carbonate et lavé le morceau en expérience, on le plonge dans une solution de sulfate de cuivre, de nouvelles réactions se manifestent insensiblement. D'une part, il y a formation d'un double sulfate de potasse et de cuivre, qui reste dissous, et de sous-sulfate de cuivre, qui cristallise en aiguilles; de l'autre, le carbonate vert, qui provient du double carbonate, se dépose en cristaux verts aciculaires; mais on conçoit qu'il est nécessaire d'arrêter l'expérience à temps, pour ne pas décomposer ensuite le carbonate de cuivre. Il nous est arrivé quelquefois de trouver sur un des échantillons de petits cristaux bleus de carbonate de cuivre. Voilà donc des composés insolubles qui cristallisent en se formant, par cela même que les forces qui les produisent agissent lentement et sans interruption, par l'intermédiaire de corps étrangers, avec lesquels les corps agissants sont en contact.

En soumettant au même mode d'expérimentation que le sous-nitrate de cuivre, le sous-sulfate, on obtient des résultats semblables; la première transformation donne naissance à un double carbonate de cuivre et de potasse, que l'on traite de nouveau par le sulfate de cuivre. Nous ne parlons pas du double sulfate de potasse et de cuivre qui se produit en même temps. L'art consiste donc, dans les transformations successives, à choisir des dissolutions qui réagissent très-lentement sur des doubles combinaisons insolubles, pour en retirer un des deux éléments et laisser l'autre, dont les parties se groupent régulièrement. Cette méthode revient à celle que nous avons fait connaître (542, etc.) pour préparer les sulfures, les io-

dures et les bromures métalliques, en faisant intervenir l'action des forces électriques.

Nous avons employé une dissolution de bi-carbonate de potasse; mais si on lui en substitue une de sous-carbonate, on obtient encore le double carbonate de cuivre et de potasse, lequel, au lieu de déposer en aiguilles, forme de jolis petits cristaux prismatiques hexaèdres droits.

1049. Il était utile de constater si le carbonate de cuivre obtenu (1048) ne renfermait pas encore de la potasse; voici les essais que l'on a faits pour cela. Soumis à une ébullition prolongée dans de l'eau distillée que l'on a renouvelée à plusieurs reprises, le carbonate n'a pas changé de couleur et les cristaux ont conservé leur insolubilité. Il a fait effervescence avec les acides, et la couleur de la dissolution était celle qui est propre aux sels de cuivre.

Quelques fragments ayant été traités sur un fil de platine parfaitement décapé, on n'a obtenu aucune scorie vitreuse; le fil s'est recouvert d'une croûte d'alliage. En le plongeant dans l'acide nitrique, il n'y a pas eu la moindre effervescence, preuve que le morceau d'essai ne renfermait pas de carbonate de potasse. La dissolution de platine a donné la même indication, même en ajoutant de l'alcool, qui favorise la précipitation du double chlorure de potassium et de platine.

Ces essais prouvent évidemment que les petits cristaux appartenaient bien au carbonate de cuivre.

1050. La théorie atomique rend parfaitement compte de toutes les décompositions et recompositions que nous venons de faire connaître.

1re OPÉRATION.

Corps en présence.	Produits observés.
Nitrate de cuivre.... $\dot{C}u\ \dddot{N}$	Nitrate quinti-basique de cuivre..... $\dot{C}u^5\ \dddot{N}$
Carbonate de chaux.. $\dot{C}a\ \ddot{C}$	Nitrate de chaux.... $\dot{C}a\ \dddot{N}$

En supposant exact l'énoncé des produits observés, il faut cinq atomes de nitrate de cuivre pour former un atome de nitrate quinti-basique; dès lors il y a cinq atomes d'acide nitrique qui réagissent sur le carbonate de chaux, pour former cinq atomes de nitrate de la même base. Jusqu'ici point de difficulté. Passons à la seconde opération.

Corps en présence.	Produits observés.
Nitrate quinti-basique de cuivre. . . . . $\dot{C}u^5\ \dddot{N}$	Double carbonate de cuivre et de potasse. $\dot{C}u\ \ddot{C} + \dot{K}\ \ddot{C} + \overline{Aq.}$
Bi-carbonate de potasse. . . . . $\dot{K}\ \ddot{C}^2$	Nitrate de potasse. . . . $\dot{K}\ \dddot{N}$
Carbonate de chaux. . $\dot{C}a\ \ddot{C}$	Nitrate de chaux. . . . $\dot{C}a\ \dddot{N}$

Un atome de nitrate quinti-basique de cuivre, pour que les réactions indiquées s'effectuent, doit décomposer cinq atomes de bi-carbonate de potasse; cinq atomes d'acide carbonique deviennent libres et se combinent avec les cinq atomes d'oxide de cuivre; puis les cinq atomes de carbonate de cuivre formés, se combinent avec les cinq atomes de carbonate de potasse. L'atome de nitrate quinti-basique de cuivre abandonne un atome d'acide nitrique, qui réagit sur un atome de carbonate de chaux, d'où résultent un atome de nitrate de chaux et un dégagement de gaz acide carbonique, dont le passage dans la liqueur est indiqué, comme nous l'avons dit, par des tubercules allongés de carbonate de chaux.

1051. Il reste à examiner la décomposition du double carbonate de potasse et de cuivre par le sulfate de cuivre.

Corps en présence.	Produits observés.
Double carbonate de cuivre et de potasse..... $\dot{C}u\ \ddot{C} + \dot{K}\ \ddot{C} + Aq.$	Carbonate de cuivre. $\dot{C}u\ \ddot{C}$
	Sous-sulfate de cuivre. $\dot{C}u^3\ \dddot{S}$
Sulfate de cuivre. . . . $\dot{C}u\ \dddot{S}$	Sulfate de potasse. . . . $\dot{K}\ \dddot{S}$

A l'inspection seule de ces formules, on voit que lorsque le sulfate de cuivre réagit sur le double carbonate, il en résulte du carbonate de cuivre, du sulfate de potasse, un dégagement de gaz acide carbonique et de l'hydrate de cuivre.

On voit donc que les décompositions et recompositions s'opèrent conformément aux lois de la théorie atomique.

§ III. *De l'action de quelques solutions salines sur les sous-sels.*

1052. En faisant réagir les sous-sels sur des solutions de phosphate, d'arséniate, de chromate, d'oxalate, de tungstate, de succinate alcalin, on obtient des résultats analogues.

Si l'on met, par exemple, le sous-nitrate de cuivre dans une solution saturée de phosphate d'ammoniaque, on ne tarde pas à s'apercevoir que le sous-sel se décompose peu à peu, et qu'il se dépose sur la surface, çà et là, une multitude de cristaux limpides incolores, formant des houppes radiées, tandis que la couleur verte du sous-sel prend une teinte bleuâtre. En examinant la nature de ces produits, on trouve que les cristaux limpides sont formés de phosphate de chaux pur, et la partie verte d'un double phosphate de cuivre et d'ammoniaque.

Ce phosphate de chaux n'est pas phosphorescent. Par la chaleur il perd son eau de cristallisation, et à l'aide de la chaleur il devient opaque. Il est insoluble dans l'eau, même à l'aide de l'ébullition, et s'y dissout facilement au contraire quand elle est légèrement acidulée, même par l'acide le plus faible. Quoique l'analyse n'ait pas été faite de ce sel, il est probable que c'est le phosphate de chaux neutre, dont il possède les principales propriétés : il est à noter que c'est précisément ce phosphate qui se trouve en dissolution dans plusieurs eaux minérales. La théorie de la formation des phosphates à base de chaux, de cuivre et d'ammoniaque, est la même

que pour les produits décrits dans le § II; réaction du phosphate d'ammoniaque sur le sous-nitrate de cuivre, d'où résulte un double phosphate; puis séparation de l'acide nitrique, qui se porte sur le carbonate de chaux, et réaction lente du nitrate de chaux sur le phosphate d'ammoniaque, laquelle produit du phosphate de chaux et du nitrate d'ammoniaque. Dans ces décompositions il se forme aussi du phosphate de cuivre.

1053. Avec l'arséniate d'ammoniaque, le mode d'action est le même, si ce n'est qu'il y a formation d'un double arséniate de chaux et de cuivre qui cristallise en jolis cristaux limpides de plusieurs millimètres de longueur qui sont des prismes obliques à bases trièdres, lesquels deviennent opaques peu à peu en perdant leur eau de cristallisation, et leur surface se recouvre de filaments soyeux, qui annoncent une nouvelle formation. On obtient aussi directement un double arséniate, en faisant réagir une dissolution d'arséniate d'ammoniaque sur du carbonate de chaux; mais sa formation est beaucoup plus lente.

1054. L'oxalate d'ammoniaque et le tungstate d'ammoniaque se comportent comme les sels précédents à l'égard du sous-nitrate de cuivre, et donnent des produits analogues; nous ne nous y arrêterons pas, attendu que notre but est de faire connaître ici les circonstances qui sont nécessaires pour déterminer les formations successives qui donnent naissance à des composés que l'art n'a pu produire jusqu'ici. Nous dirons seulement deux mots de la réaction lente du sous-nitrate de plomb, obtenu avec le nitrate de plomb et le carbonate de chaux, sur le chromate de potasse. Quand on laisse séjourner pendant quelques mois un sous-nitrate ainsi préparé, dans une dissolution de chromate de potasse, étendue d'une ou deux fois son volume d'eau, la surface prend dans quelques parties une teinte rougeâtre, et il se forme insensiblement de petits cristaux très-nets de chromate de plomb rouge, en prismes rhomboïdaux, terminés par des sommets dièdres, comme ceux que l'on trouve à Bérezoff, en Sibérie.

1055. Nous avons vu précédemment comment on pouvait obtenir le carbonate de cuivre par la méthode des doubles décompositions; nous allons montrer maintenant que cette méthode peut être employée également en électro-chimie pour former le même composé.

Prenons un tube recourbé en U, rempli dans sa partie inférieure d'argile humide; mettons dans l'une des branches une solution de bi-carbonate de soude, dans l'autre une solution de sulfate de cuivre, et plongeons dans chacune d'elles l'un des bouts d'une lame de cuivre. Le bi-carbonate, en réagissant d'une part sur le métal et de l'autre sur le sulfate, par l'intermédiaire de l'argile humide, détermine un courant qui rend négatif le bout plongeant dans le sulfate. Ce dernier est décomposé; le cuivre se précipite, il y a transport d'oxigène et d'acide sulfurique de l'autre côté, d'où résultent un double carbonate de cuivre et de soude et du sulfate de soude qui reste dissous. Quand la lame est recouverte de cristaux de double carbonate, on enlève la solution de bi-carbonate et on la remplace par de l'eau. Dans ce cas, il y a encore production d'effets voltaïques, mais leur intensité est moins forte que précédemment; l'oxigène et l'acide sulfurique arrivent du tube négatif; l'un oxide de nouveau le cuivre, l'autre décompose le double carbonate; il y a formation de sulfate de soude, de carbonate de cuivre qui cristallise, et dépôt cristallisé du même composé, qui provient de la décomposition du double carbonate.

On voit sur-le-champ que ce procédé peut être employé dans une foule de cas pour former des composés insolubles.

CHAPITRE IV.

DES ACTIONS LENTES.

§ 1er. *Considérations générales.*

1056. Nous appelons actions lentes, toutes celles qui sont produites dans des corps en contact ou séparés, exposés aux influences des agents atmosphériques ou de différents milieux dans lesquels ils se trouvent plongés, et dont les effets ne sont appréciables qu'après un certain laps de temps. Toutes les forces de la nature concourent à leur production.

Il en est de ces actions comme de la phosphorescence : on n'en a jamais fait l'objet d'une étude spéciale, parce que l'on n'a pas cherché à analyser toutes les forces qui président à leur production.

En chimie, l'on ne s'occupe en général de la réaction de deux corps l'un sur l'autre que lorsqu'il en résulte des composés que l'on peut recueillir peu de temps après, et l'on néglige les effets électriques qui l'accompagnent. Dans cette réaction, lors même qu'elle est très-faible, le corps qui se comporte comme acide prend l'électricité positive, et celui qui agit comme alcali, l'électricité négative. Si l'on recueille ces deux électricités, au moyen d'un autre corps convenablement placé, on a un courant qui agit comme force chimique, non-seulement sur leurs principes constituants, mais encore sur ceux des corps qui les environnent. Il se forme alors une foule de composés dont il n'est pas toujours possible de prévoir *à priori* la nature.

On voit donc que l'électro-chimie disposant de deux forces et la chimie d'une seule, doit arriver quelquefois à des résultats que celle-ci ne peut pas toujours obtenir.

L'exemple suivant caractérise suffisamment la différence qui existe entre la chimie et l'électro-chimie : une lame d'argent plongée dans de l'acide hydrochlorique concentré, hors du contact de l'air, n'en éprouve qu'une action excessivement faible; mais si on la met en contact avec un morceau de charbon bon conducteur, ce dernier s'empare des deux électricités dégagées, et il en résulte un courant électrique qui augmente l'énergie de l'action chimique à un tel point qu'il se dépose peu à peu sur la lame des cristaux de chlorure d'argent qui prennent de l'accroissement avec le temps. L'action continue pendant des années, sans interruption.

On conçoit maintenant pourquoi un grand nombre de substances agglomérées ensemble produisent mille actions de ce genre qui rentrent, jusqu'à un certain point, dans le domaine de l'électro-chimie.

1057. Dans l'état actuel de la science, quoique nous ne puissions expliquer qu'un petit nombre de faits relatifs à ces actions tumultueuses, ce n'est pas un motif pour passer sous silence tous ceux qui ont été observés et dont on n'a pu rendre compte jusqu'ici, attendu qu'ils peuvent servir à provoquer des recherches de la part des personnes qui se livrent à leur étude. Le lecteur ne sera donc pas étonné de voir passer en revue une foule de faits qui n'ont pas encore été considérés comme ayant des rapports directs avec l'électricité.

Indiquons les caractères électriques auxquels on reconnaît qu'une solution agit très-faiblement sur une substance quelconque.

Nous avons déjà prouvé que lorsque deux lames, l'une d'or et l'autre de platine, à surfaces très-nettes, sont en contact, elles ne manifestent aucun effet électrique de tension, ni aucun courant, quand, après les avoir séparées et mises en communication chacune avec l'une des

extrémités d'un multiplicateur, on les plonge dans un liquide qui ne réagit pas chimiquement sur l'une d'elles. D'un autre côté, nous savons que le contact de l'or ou du platine, avec le peroxide de manganèse, l'anthracite, la plombagine, etc., est accompagné d'effets électriques de tension, bien que ces dernières substances ne paraissent éprouver aucune action appréciable de la part de l'eau distillée.

Examinons la nature des courants qui sont produits, quand ces mêmes substances constituent un circuit fermé avec l'eau distillée et le platine. Supposons que l'on ait fixé à l'une des extrémités du fil d'un multiplicateur un cristal de peroxide de manganèse, d'un centimètre de long et de quelques millimètres de large, et à l'autre une lame de platine ayant les mêmes dimensions; l'aiguille aimantée, aussitôt l'immersion, est déviée plus ou moins de sa position ordinaire d'equilibre, selon la sensibilité de l'appareil, et dans un sens tel que le peroxide prend à l'eau l'électricité positive, comme le fait tout corps qui perd de l'oxigène, ou qui se comporte comme un acide dans sa combinaison avec un autre corps; l'aiguille revient ensuite à zéro quand les oscillations sont terminées. Si l'on interrompt le circuit, sans changer le contact du peroxide ou du platine avec l'eau, et qu'on le rétablisse aussitôt, l'aiguille reste au repos; mais il n'en est plus de même quand l'interruption dure plus de cinq minutes: dans ce cas, elle est déviée d'un certain angle, dont la grandeur dépend du temps pendant lequel le circuit est resté ouvert.

Le circuit ayant été interrompu, enlevons une des chevilles de communication du multiplicateur, retirons le peroxide de l'eau; remettons en place la cheville, puis replongeons le minéral: l'effet sera le même que s'il n'eût pas changé de place. Cet effet se conçoit, puisque la couche d'eau qui adhérait à sa surface n'a pas été enlevée. Quand la décharge a été opérée, on n'obtient plus de courant en retirant de l'eau le peroxide et le replongeant immédiatement; nous disons immédiatement, car

si l'on attend que l'eau qui est à la surface soit évaporée, on a un courant lors de l'immersion.

En général, il ne faut commencer les expériences que lorsque le circuit étant fermé depuis quelque temps, la déviation est nulle.

Les résultats suivants nous indiquent les angles de déviation obtenus dans cinq expériences :

SUBSTANCES soumises à l'expérience.	DURÉE de l'immersion.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.
Peroxide de manganèse..+	15 minutes	8°, 50
	30 Idem	12°, 50
Platine	1 heure	15°, 50
	3 Idem	23°, 00
Eau.....—	9 Idem	27°, 00
	24 Idem	28°, 00
Anthracite.....—	15 minutes	6°, 00
	30 Idem	8°, 50
Platine	1 heure	9°, 00
Eau.....+	3 Idem	9°, 00
Carbone de fer.....+	15 minutes	8°, 50
	30 Idem	11°, 00
Platine	1 heure	16°, 00
Eau.....—	3 Idem	20°, 00

Des faits précédents nous pouvons conclure, 1° que lorsque le platine, l'eau et une substance minérale conductrice et difficilement altérable par elle, forment un circuit fermé, il se produit une décharge électrique instantanée, analogue à celle que donne la bouteille de Leyde, à l'instant où l'on ferme le circuit; 2° que l'on ne peut obtenir une seconde décharge qu'autant que le circuit reste interrompu pendant quelque temps; 3° que la décharge est d'autant plus intense que le circuit est resté plus longtemps interrompu; 4° que l'accroissement, dans l'intensité de la déviation, a une limite qui est déterminée par la tendance que possèdent les deux électricités

dégagées à franchir la surface du courant, pour reformer du fluide neutre, tendance qui dépend de la conductibilité des corps et des causes qui font varier leurs propriétés électriques. Analysons ce phénomène : l'effet produit ne doit-il pas être attribué à un excès d'électricité libre, dégagée dans la réaction très-lente de l'eau sur le minéral, lequel excès, en raison de sa mauvaise conductibilité, est resté engagé entre ses particules, où il s'est accumulé jusqu'à un certain degré, de manière à produire ensuite une décharge, quand on établit la communication de la manière indiquée? C'est ce que nous ignorons. Tout porte à croire que les deux électricités dégagées se trouvent en équilibre à la surface de contact des deux corps qu'elle ne peut franchir, comme dans le condensateur, où la couche isolante s'oppose à leur recomposition.

1058. Nous voyons bien qu'un minéral suffisamment bon conducteur se charge d'un excès d'électricité libre, qui est dissimulé par l'excès d'électricité contraire que prend l'eau; mais cette dissimulation est-elle complète, surtout dans les corps où la conductibilité n'est pas aussi grande que dans les métaux? Pour le savoir, il faut plonger à moitié dans l'eau un morceau de peroxide de manganèse cristallisé, d'un certain volume, puis le toucher avec les deux bouts du multiplicateur, en divers points, afin de s'assurer si ces points possèdent ou non la même espèce d'électricité. L'expérience prouve qu'en touchant, d'une part, à peu de distance de la surface immergée, et de l'autre dans la partie la plus éloignée, on a un courant dirigé dans un sens tel que celle-ci fournit l'électricité négative. Cet effet doit être attribué à une petite couche d'eau hygrométrique, adhérente à la surface dans la partie inférieure; car on peut obtenir le même effet en appliquant à deux points du minéral, qui ne donnent pas ordinairement de courant, les deux bouts du fil du multiplicateur, dont l'un a été plongé préalablement dans l'eau, puis essuyé. La petite quantité d'eau hygrométrique qui reste suffit pour réagir sur le peroxide de

manganèse, de manière à donner lieu aux effets observés.

1059. Quoique nous reconnaissions une origine purement chimique à l'électricité voltaïque, et que l'eau réagit sur le peroxide de manganèse, pour le changer en hydrate, nous nous demandons quelle est la nature de l'action chimique que l'eau distillée exerce sur la plombagine et surtout sur l'anthracite, dont la force de cohésion est si grande, que cette substance résiste jusqu'à un certain point à l'action du feu? Dans l'impossibilité de répondre à cette question, nous émettons de nouveau l'opinion qu'il peut très-bien se faire qu'il y ait dégagement d'électricité dans le contact de deux corps, quand leur attraction est suffisante pour troubler l'équilibre naturel des molécules en présence, mais non pour vaincre la force de cohésion qui s'oppose à leur combinaison. L'expérience suivante tend à confirmer cette conjecture : prenons une lame d'or et une autre de platine, l'une et l'autre en communication avec le multiplicateur. Plongeons-les dans de l'eau ordinaire : si les deux surfaces sont très-nettes, il n'y a pas de courant; mais en ajoutant quelques gouttes d'acide nitrique, interrompant le circuit et le refermant aussitôt, il en est encore de même, conformément au principe que nous avons établi il y a longtemps, qu'il n'y a jamais de courant électrique continu à moins que l'un des corps ne soit attaqué chimiquement. Au lieu de refermer le circuit immédiatement après, laissons-le ouvert pendant quelques instants, on a alors une déviation de 5 à 6 degrés, produite par une décharge instantanée analogue aux précédentes et dont le sens indique que l'eau, légèrement acidulée, a pris l'électricité positive, comme si l'or avait été attaqué; et cependant la chimie n'admet aucune action de ce genre, parce qu'elle échappe à tous ces moyens d'investigation, à moins cependant que l'acide nitrique ne contienne du gaz nitreux.

1060. Voici encore un autre exemple des effets électriques produits dans les actions chimiques d'une très-

faible intensité : on sait, d'après M. Payen, comme nous le verrons plus loin, que les solutions alcalisées jouissent de la propriété de garantir de toute altération, pendant un temps assez considérable, le fer et la fonte qui y sont plongés. Cela posé, nous avons pris un flacon d'eau distillée, dans lequel on a fait dissoudre $\frac{1}{200}$ de potasse, et l'on a plongé dedans une lame de fer, parfaitement polie, et une lame d'or. A chacune de ces lames on a fixé un fil d'or, passant à travers le bouchon qui fermait le flacon, et que l'on a mastiqué avec tout le soin possible, pour que l'air n'entrât pas dans l'intérieur. Dix-huit mois après, le fer avait conservé son éclat, aucun tubercule ne s'était formé, et tout annonçait qu'il n'avait éprouvé aucune altération appréciable à la vue.

Les deux fils d'or ayant été mis en communication avec un multiplicateur à fil court, on a obtenu une déviation de 35°, et l'aiguille aimantée, après quelques oscillations, est revenue à zéro. En interrompant la communication et la rétablissant aussitôt après, l'aiguille aimantée ne s'est plus déviée. En laissant le circuit ouvert pendant un quart d'heure et le refermant ensuite, l'aiguille a été chassée à 25°. Ce n'est qu'après une interruption d'une demi-heure qu'elle a été déviée de 35°. Voilà donc encore une décharge électrique semblable à celle de la bouteille de Leyde, et qui est analogue aux précédentes; elle nous donne un caractère à l'aide duquel on peut reconnaître des actions chimiques excessivement lentes, dont l'existence ne peut être constatée par aucun des réactifs dont la chimie dispose.

§ II. *De la cémentation en général.*

1061. Quiconque s'est occupé d'étudier les actions lentes qu'éprouvent certains métaux et diverses substances minérales soumis à l'influence journalière des agents atmosphériques ou autres, ne peut s'empêcher de reconnaître qu'elles sont souvent le résultat d'un effet semblable à celui qui détermine dans l'acier la combinaison

du carbone avec le fer. Nous sommes donc forcé, avant de parler de l'altération des métaux, d'exposer notre manière de voir sur la cause qui produit la cémentation.

Les molécules des corps peuvent être soumises à des mouvements d'oscillation qui changent leur position naturelle d'équilibre et constituent alors des formes appartenant à un autre système cristallin, bien que la composition n'ait pas changé. Nous avons cité quelques exemples d'équilibre instable des molécules dans la phosphorescence, en montrant de quelle manière les couleurs des minéraux influaient sur la production de ce phénomène. Ces couleurs, dans les faits que nous avons cités, doivent être attribuées à l'arrangement des particules, puisque des cristaux de spath-fluor, qui étaient devenus blancs par la calcination et qui ne possédaient plus après la phosphorescence, acquéraient des teintes colorées, après avoir été électrisés, et jouissaient pleinement de la faculté d'émettre de la lumière par l'élévation de température (703, 704). Les décharges électriques mettent donc les particules des corps dans un état d'équilibre instable, qui peut être détruit par des causes très-légères, telles que la lumière et une faible chaleur. Une fois qu'il n'existe plus, la phosphorescence cesse, puisque les effets électriques qui accompagnent le mouvement moléculaire n'ont plus lieu.

Il faut donc admettre que les particules des corps peuvent, en oscillant, éprouver des dérangements qui changent quelques-unes de leurs propriétés physiques.

1062. M. Haidinger cite des faits extrêmement curieux, qui viennent à l'appui de ce que nous venons de dire (1). Il a trouvé que certains cristaux peuvent changer de forme en modifiant quelques-unes des circonstances qui président à leur production, sans pour cela que leur composition éprouve des changements. Le sulfate de zinc

(1) Transact. d'Edimbg. T. x.

en est un exemple. Toutes les fois que la solution de ce sel n'est pas assez concentrée pour qu'il se forme une pellicule à la surface, et que la température est maintenue au-dessous de 52° cent., on a des cristaux qui dérivent d'une pyramide à quatre faces scalènes, dont les trois axes sont perpendiculaires entre eux. En maintenant la température à un degré plus élevé, les cristaux dérivent encore d'une pyramide à quatre faces scalènes, dans laquelle l'axe est incliné sur la base. Dans les deux cas, la composition des cristaux est la même.

Si l'on élève la température des cristaux de la première espèce au-dessus de 52°, certains points de leur surface deviennent opaques, et l'on voit rayonner de chacun d'eux des cristaux qui appartiennent à la seconde espèce.

On a observé aussi depuis longtemps que lorsque l'arragonite est exposée à la chaleur, elle devient opaque et éclate en mille petits fragments avant de perdre aucune portion de son acide carbonique. Il est très-probable que dans ce cas elle est transformée en spath calcaire, qui occupe un plus grand espace que l'arragonite, dans le rapport de 29 à 27.

1063. On voit donc que les molécules des corps peuvent éprouver un déplacement qui change leur groupement. Cela étant, rien ne s'oppose à ce que pendant que ce déplacement s'effectue, lequel est toujours accompagné d'effets électriques, d'autres molécules étrangères puissent s'interposer entre elles, sans pour cela que le volume primitif du corps change. Nous reviendrons plus tard sur les nombreux exemples de cémentation que nous offre la nature; avant, tâchons d'expliquer comment il peut se faire que l'électricité intervienne dans le mouvement moléculaire que nous venons d'indiquer. Prenons l'exemple de cémentation le plus anciennement connu, celui que nous offre l'acier pendant sa formation. M. le Play pense que le gaz oxide de carbone est l'agent qui pénètre successivement dans le fer, auquel il abandonne une portion de son carbone pour se changer en gaz acide

carbonique, lequel étant expulsé à l'extérieur, se change, dans son contact avec le charbon, en oxide de carbone, qui retourne dans le fer pour continuer la cémentation, et ainsi de suite.

On se demande si lorsque la température du fer est portée au rouge, ses molécules sont assez éloignées pour laisser passer un gaz; si cela était, cet exemple serait peut-être le seul où la cémentation s'opérerait par l'introduction d'un gaz dans l'intérieur du métal, car on peut en citer mille autres qui prouvent que le phénomène se produit à la température ordinaire; et que la combinaison qui en résulte a un tissu tellement serré, qu'il est de toute impossibilité qu'un liquide, ou même un gaz, puisse s'introduire dans l'intérieur. Nous ne prétendons pas du tout infirmer en rien la théorie de M. Play, nous nous bornons seulement à citer des faits qui ne permettent pas de supposer qu'elle soit l'expression vraie de ce qui se passe dans toutes les cémentations. Indiquons comment nous envisageons le phénomène, sans rien préjuger sur la nature des atomes des corps: une foule de faits nous indiquent, comme nous l'avons déjà dit (613), qu'à l'instant où l'action chimique s'exerce entre un acide et un alcali, les particules acides, qui sont toujours environnées d'une certaine quantité de fluide naturel, dépendante de leur nature, perdent l'électricité positive et conservent l'électricité négative, qui fait corps avec elle, tant que dure la combinaison; de même, les particules alcalines conservent leur atmosphère d'électricité positive, dont l'intensité est égale à celle des atmosphères d'électricité négative des particules acides. Quand la combinaison est effectuée, l'action de ces atmosphères se trouve naturellement neutralisée par leur attraction réciproque, laquelle maintient le contact des atomes, ou, pour parler plus exactement, les maintient à une distance constante, quand la température et la pression ne changent pas.

L'existence des atmosphères électriques de l'acier et du carbone est indiquée par la nature des effets élec-

triques qui sont produits lors de la combinaison du fer avec le carbone; l'expérience prouve qu'à l'instant où cette combinaison s'effectue, le carbone prend l'électricité positive et le fer l'électricité négative. Pour démontrer ce fait, on fixe à l'une des extrémités du fil d'un multiplicateur, un morceau de charbon bon conducteur et à l'autre un fil de fer roulé en spirale. Au moyen d'une lampe à alcool, on porte au rouge l'extrémité du charbon ainsi que la spirale, puis on les superpose l'une sur l'autre : on a aussitôt un courant énergique qui va du fer au charbon et dont la direction est la même que celle du courant qui se manifeste dans la combinaison du fer avec l'oxigène ou un acide. Ce courant est dû non-seulement à l'effet thermo-chimique, mais encore à l'action chimique.

Expliquons maintenant comment nous concevons que peut s'effectuer la cémentation, c'est-à-dire cette action en vertu de laquelle des atomes sont transportés dans l'intérieur des corps, à des températures plus ou moins élevées, tandis que d'autres en sont expulsés en même temps. Soient *f*, *f*, *f*, *f'*, *f'*, *f'*, fig. 2e, deux groupes d'un certain nombre d'atomes de fer; *c*, *c*, *c*, *c'*, *c'*, *c'*, des atomes de carbone, avec lesquels ils se combinent pour produire de l'acier.

Dès l'instant que *fc*, *fc*, *fc*, sont combinés ensemble, *f*, *f*, *f*, sont environnés d'atmosphères d'électricité négative, et *c*, *c*, *c*, d'atmosphères d'électricité positive. Ceci n'est pas une supposition, mais une conséquence rigoureuse des faits. Les atomes *fc*, *fc*, *fc*, doivent se trouver dans un équilibre instable à l'égard de *f'*, *f'*, *f'* et de *c'*, *c'*, *c'*, attendu que la force d'agrégation qui les unissait à *f*, *f*, *f*, et à *c'*, *c'*, *c'*, doit être très-affaiblie, en raison de la combinaison d'un certain nombre d'atomes de fer avec des atomes de carbone; par suite de cette instabilité, *fc*, *fc*, *fc*, peuvent exécuter certains mouvements oscillatoires autour de leur position d'équilibre; or, dès l'instant que *c*, *c*, *c*, entrent dans la sphère d'activité de *f'*, *f'*, *f'*, et que *f*, *f*, *f*, peuvent rencontrer d'autres atomes de carbone

c', *c'*, *c'*, il en résulte une double combinaison de *c*, *c*, *c*, avec *f*, *f*, *f*, et de *f*, *f*, *f*, avec *c'*, *c'*, *c'*, au moyen de quoi *c*, *c*, *c*, pénètrent dans l'intérieur du fer. En continuant le même raisonnement, on conçoit comment la seconde rangée d'atomes de carbone peut céder la place à une autre qui arrive de l'extérieur, de sorte qu'étant poussée de proche en proche, elle pénètre jusqu'au centre de la masse de fer.

Cette théorie, qui s'applique à tous les genres de cémentation, même à celle qui s'opère à la température ordinaire, repose sur des faits positifs, c'est-à-dire, sur l'instabilité des molécules que les phénomènes de phosphorescence, ainsi que les observations intéressantes de MM. Haidinger et Mitzcherlich, nous prouvent d'une manière incontestable. Nous reviendrons sur un grand nombre de phénomènes de cémentation, lorsque nous aurons exposé les altérations qu'éprouvent les métaux exposés à l'action d'agents atmosphériques ou autres.

§ III. *Des altérations du fer et de la fonte.*

1064. Lorsqu'on met dans une capsule de porcelaine de la limaille de fer, recouverte d'une couche très-mince d'eau, le métal se transforme peu à peu en hydrate de peroxide, tandis que, si la couche est épaisse, il y a en outre formation d'oxide magnétique. La production de cet oxide est due évidemment à la lenteur avec laquelle l'oxigène de l'air est transmis à la limaille. Quelques chimistes pensent que l'eau ne sert que de véhicule à l'oxigène; mais il ne paraît pas en être tout à fait ainsi.

Dès l'instant que quelques points d'oxide se sont formés sur une lame de fer exposée à l'humidité, il en résulte un couple voltaïque entre le métal, l'oxide et l'eau dont l'action accélère l'oxidation. On a avancé que l'eau n'était pas décomposée, parce qu'il ne se dégageait pas d'hydrogène, mais la présence de l'ammoniaque dans la rouille prouve suffisamment que les principes constituants de l'eau ont été séparés, car l'alcali n'a pu être

formé que par la combinaison de l'hydrogène à l'état naissant avec l'azote de l'air. Nous reviendrons sur ce fait, en traitant de la formation spontanée de l'ammoniaque.

1065. On conçoit, d'après ce que nous venons de dire, pourquoi l'on ne trouve que peu d'objets antiques en fer, surtout s'ils ont séjourné dans des endroits humides, car la décomposition une fois commencée à la surface, pénètre jusqu'au centre, par un procédé analogue à la cémentation. C'est ainsi que l'on trouve des masses entières de fer changées en un mélange de fer magnétique et de peroxide, qui renferment quelquefois dans leurs fissures des cristaux d'oxide.

Nous avons trouvé dans les fondations d'un vieux château dont la construction remonte au VIIIe ou au IXe siècle, plusieurs morceaux de fer, de 4 à 5 décimètres de longueur et de 5 centimètres de largeur, presque entièrement décomposés; ils sont transformés en fer hydraté et en fer magnétique; on aperçoit encore des parcelles de fer qui sont à l'état métallique, et quelques portions offrent une texture lamelleuse. Si l'on détache de ces lames avec un instrument tranchant, on trouve que leurs surfaces sont recouvertes de deux espèces de cristaux; les plus apparents, qui ont 1 à 2 millimètres de longueur, ont une couleur jaune de rouille; ils sont aplatis et leur forme dérive de l'octaèdre régulier. Leur poussière est jaune; ils renferment de l'eau de cristallisation, se dissolvent dans les acides et donnent toutes les réactions propres au peroxide de fer hydraté. Sous ces cristaux en sont placés d'autres de fer oligiste irisé qui, vus au microscope, présentent les faces de la variété binoternaire de Haüy; leur aspect est le même que celui des cristaux de l'île d'Elbe.

Les cristaux de peroxide non hydraté et ceux de peroxide hydraté sont à côté les uns des autres. Les premiers résultent-ils de la décomposition du fer hydraté qui se forme toujours quand le fer est exposé à l'action simultanée de l'air et de l'eau, ou bien ont-ils été pro-

duits immédiatement ? A l'inspection des lames, il est facile de voir que les cristaux de fer hydraté sont d'une formation postérieure à ceux du fer oligiste, puisqu'ils sont superposés sur ces derniers. Jusqu'ici l'on n'a pu former les cristaux de peroxide de fer anhydre que par le secours de la chaleur. Pourraient-ils être produits également par l'action des courants électriques? C'est une question que nous ne pouvons décider encore; cependant il est probable qu'elle a pu exercer une certaine influence dans l'exemple que nous citons : en effet, il y a production de courant toutes les fois qu'un métal étant en contact avec un de ses oxides, ou un oxide avec un autre oxide, ces corps sont mouillés simultanément par un liquide capable de réagir chimiquement sur l'un d'eux. Tout porte à croire, d'un autre côté, que les lames de fer ont été d'abord changées en oxide magnétique; que les fissures se sont ensuite formées peu à peu à mesure que le métal a changé de volume, et que les cristaux qui tapissent les parois de ces fissures ont été produits postérieurement par la réaction de l'air et de l'eau qui, pénétrant très-lentement entre les fissures, auront réagi sur les portions de fer non encore altérées dont on retrouve des traces en broyant les lames. Les molécules s'étant formées, pour ainsi dire, une à une, rien ne s'est opposé à ce qu'elles prissent un arrangement régulier. Or, les petits couples voltaïques formés par le fer, l'oxide magnétique et l'eau, auront réagi infailliblement sur l'hydrate de peroxide qui se trouvait à l'état naissant, l'eau se sera portée sur le fer et le peroxide sur l'oxide magnétique. Quand tout le fer aura été à peu près recouvert d'oxide, l'action des couples voltaïques sera devenue insensible, et l'hydrate de peroxide aura cristallisé sur le peroxide anhydre ou fer oligiste.

1066. On a remarqué que les alliages de fer et de différents métaux sont beaucoup moins oxidables que le fer ; ainsi la force de cohésion l'emporte ici sur l'action voltaïque. C'est pour cela, très-probablement, que le fer météorique, qui renferme du nickel et d'autres métaux, se

conserve à l'air libre sans éprouver d'altération bien sensible. On cite cependant une masse considérable de ce fer, du poids de plusieurs centaines de quintaux, trouvée à Utumpa, dans l'Amérique méridionale, qui était oxidée dans quelques parties. Cette masse était enfoncée, en grande partie, dans un terrain argileux. La surface extérieure était très-compacte, mais en ayant enlevé quelques portions, on trouva l'intérieur rempli de cavités. Au niveau de la terre, là où il existait une humidité continuelle et où devaient se faire sentir davantage les influences atmosphériques, le fer était recouvert d'une couche d'oxide de 6 pouces d'épaisseur.

1067. On a eu souvent l'occasion d'examiner les effets qu'éprouve la fonte qui reste longtemps en contact avec l'eau. On a reconnu que l'acide carbonique contenu dans l'eau dissout le fer et l'entraîne; la masse qui reste est de la plombagine. Aussi les pièces de canon en fonte qui séjournent longtemps dans la mer sont en grande partie converties en une masse poreuse; M. Berzelius rapporte que les canons d'un vaisseau qui avait coulé à fond, cinquante ans auparavant, aux environs de Carlscrone, éprouvèrent ce genre de décomposition. Aussitôt qu'ils furent au contact de l'air, ils s'échauffèrent tellement que l'eau qui restait encore s'échappa sous forme de vapeurs et qu'il fut impossible de les toucher. Ce phénomène est dû à l'absorption de l'oxigène.

M. Hatchette a examiné un morceau de fonte qui était resté plongé longtemps dans l'eau de mer; sa surface était recouverte d'une incrustation d'un pouce d'épaisseur, d'une substance ayant l'apparence de la plombagine; elle était cassante, grasse au toucher et laissait sur le papier une trace noire. Cette substance qui renfermait un peu de chlorure de fer était composée de

Oxide de fer.....	0,81
Plombagine.....	0,16

Des ancres et autres objets en fer forgé, placés dans les

mêmes circonstances, n'étaient seulement qu'oxidés à leur surface; il est donc permis de croire que le contact du fer et de la plombagine dans la fonte détermine une action voltaïque qui accélère l'altération de celle-ci.

1068. En général, la fonte exposée aux influences atmosphériques s'altère suivant sa nature : la fonte blanche, qui est très-dure, aigre et cassante, est peu altérable à l'air.

La fonte grise ou noire, qui est tendre, moins aigre et plus poreuse, éprouve plus d'altération, surtout la dernière, à cause du graphite qu'elle renferme, lequel, dans son contact avec la fonte ou le fer, détermine des actions voltaïques.

La fonte truitée, composée des deux précédentes, offre plus de résistance et s'altère moins que la fonte noire. On l'emploie ordinairement pour canons, cylindres et laminoirs.

Les bombes et obus sont en fonte grise tendre, tandis que les boulets, qui doivent offrir plus de résistance, sont en fonte plus avancée, c'est-à-dire, en fonte plus blanche. Tous ces projectiles s'altèrent assez avec le temps pour causer des préjudices sensibles à l'État. Il serait donc important de trouver un moyen simple et économique de garantir de l'oxidation les diverses espèces de fonte. Voyons les tentatives que l'on a faites pour cela.

Les officiers d'artillerie chargés de la surveillance de la fabrication des projectiles et des canons ont remarqué que les fontes obtenues avec le coke pur s'altèrent plus que celles qui sont préparées au charbon, et d'autant moins que le coke renferme plus de charbon. D'où vient cette différence? Nous savons seulement que la première est plus foncée, plus douce et plus favorable à employer pour le moulage que l'autre, ce qui annonce une force de cohésion moins grande et une disposition plus marquée à s'oxider.

On a remarqué aussi, dans diverses usines, que deux fontes provenant de la même matière, mais dont l'une est coulée dans du sable et l'autre dans un moule de fonte,

ne jouissent pas des mêmes propriétés. La première est attaquée plus promptement que la seconde par les agents atmosphériques : dans celle-ci les traces d'oxide sont partielles et plus profondes, tandis que dans l'autre elles sont plus régulières et moins profondes. Cette différence vient de ce que les surfaces ne sont pas dans le même état. Quand elles sont rugueuses, couvertes d'aspérités, l'eau et l'air doivent réagir sur elles avec plus de facilité que lorsqu'elles sont lisses, unies, composées de parties très-serrées, comme nous le prouverons plus loin.

La fonte à canons, par exemple, qui est assez oxidable, ne se rouille qu'aux premières impressions de l'humidité; bientôt après, elle se couvre d'un vernis rouille qui la préserve d'une oxidation nouvelle.

Les fontes obtenues par un moulage fait en sable fin, étuvé et enduit à sa surface d'une couche de charbon de bois tamisé, ne s'oxident que dans les parties cassées ou burinées, et encore l'oxidation s'arrête-t-elle bientôt.

On voit donc qu'il serait possible, par l'opération seule du fondage, de carburer les surfaces des objets en fonte, de manière à les préserver pendant longtemps de l'action de l'eau et de l'air. Si on pouvait les revêtir d'une couche de plombagine, on aurait résolu le problème relatif à la conservation de la fonte.

1069. Dans quelques localités on place des lames de zinc entre deux rangées de projectiles, afin de garantir ces derniers de l'oxidation. Ce moyen ne préserve seulement que les parties de la fonte voisines des points de contact des deux métaux, attendu que l'influence de la force électro-motrice sur la charge de la pile, telle que la concevait Volta, n'existant pas, l'action électro-chimique ne doit pas s'étendre au delà des portions de la fonte qui sont mouillées en même temps que le zinc par le même liquide. Or, ce liquide étant ordinairement l'eau hygrométrique, qui se dépose sur tous les corps, il en résulte que la portion préservée ne doit pas s'étendre au delà de la sphère d'activité de l'action capillaire en vertu de laquelle cette eau est interposée entre les deux métaux.

1070. M. Payen a fait quelques expériences dans le but d'empêcher le fer et la fonte de s'oxider dans l'eau. Ayant observé que l'eau alcalisée, dans laquelle sont plongés des morceaux de fer, garantit ce métal de l'altération, il a cherché à déterminer la limite de ce pouvoir préservateur, afin de découvrir les circonstances les plus favorables à l'altération du fer.

Après un grand nombre d'essais, il a trouvé des mélanges tels d'alcali et de sel, que le fer, loin d'être préservé, s'oxidait au contraire très-rapidement. Un cylindre de fer est préservé longtemps de toute altération, quand il est plongé dans une solution de potasse pure étendue de mille fois son poids d'eau, mais si cette solution a le contact de l'air, l'alcali attirant peu à peu l'acide carbonique, elle perd la propriété préservatrice.

Quand l'eau contient $\frac{2}{100}$ de son volume de solution saturée de carbonate de soude, il se forme des concrétions coniques d'oxide qui restent longtemps brunes-verdâtres à la base, et acquièrent une couleur jaunâtre à leur sommet. Ce qu'il y a de particulier dans ce mode d'altération, c'est que tous les points de la surface du métal ne sont pas également attaqués. L'action commence dans les parties où il existe des solutions de continuité; là, par conséquent, où se déposent des corps étrangers qui constituent un couple voltaïque par leur contact avec le fer et le liquide. Tout le reste de la surface conserve son éclat métallique.

Une solution saturée de sel marin, à l'abri du contact de l'air, ne produit que quelques exubérances d'oxide de fer, tandis qu'au contact de l'air l'oxidation marche comme à l'ordinaire.

Une solution saturée de sel marin et de carbonate de soude jouit de la propriété, même au contact de l'air, de préserver le fer de toute altération; mais il n'en est plus de même lorsque la solution est étendue d'eau.

1071. Diverses expériences ont prouvé à M. Payen que cette différence dans les effets ne provenait pas de ce que les solutions saturées renfermaient moins d'air

que celles qui ne l'étaient pas. Il a montré entre autres que les proportions de bases alcalines capables d'empêcher toute oxidation n'éliminaient qu'une très-faible portion de l'air contenue dans l'eau. Il faut donc chercher une autre cause pour expliquer la faculté préservatrice que possède l'eau alcalisée.

Une solution saturée de sel marin et de sous-carbonate de soude, étendue de 75 fois son volumé d'eau de Seine, détermine en moins d'une minute, sur le fer et la fonte, un commencement d'oxidation indiquée par des points d'un vert-pâle qui, en moins de dix minutes, forment des saillies sensibles à l'œil. En appliquant sur la surface un fragment de charbon bien calciné, l'effet est considérablement augmenté en raison de l'action voltaïque, et il résulte de là que la fonte, dans les mêmes circonstances, doit s'altérer plus rapidement que le fer pur.

On voit donc que les solutions qui ont une faible réaction alcaline en présence du sel marin et de l'air, jouissent de la propriété de produire sur le fer et la fonte qui plongent dedans des concrétions locales, pour ainsi dire instantanées, qui préservent le reste de la surface de toute altération; les effets varient suivant les proportions des différents sels, les solutions de continuité et les corps étrangers qui adhèrent aux surfaces.

1072. M. Payen pense que des concrétions semblables se forment dans des tuyaux de fonte comme ceux de Grenoble, où passent des eaux très-légèrement salées et qui ont une faible réaction alcaline, en raison de la présence du carbonate de chaux. Ce qui tend encore à donner de la vraisemblance à cette manière de voir, c'est que dans ces tuyaux il se forme de distance en distance des centres d'action qui préservent le reste de la même manière qu'on l'observe dans les morceaux de fonte soumis à l'expérience.

Si l'on incruste des morceaux de fer dans de la fonte, et même des fragments de fonte dans des plaques en fonte de nature différente, on a des oxidations locales tuberculeuses qui naissent de préférence aux points de contact.

On peut conclure de ces expériences que pour peu qu'il y ait des défauts d'homogénéité dans des tuyaux de fonte, où coulent des eaux légèrement alcalisées et renfermant quelques portions de sels, il se forme des tubercules là où existent les corps étrangers.

1073. M. Payen a cherché aussi à déterminer les circonstances dans lesquelles la fonte blanche, qui est beaucoup moins oxidable, produit le même effet que la fonte grise. Ayant préparé une solution saturée de carbonate de soude et de chlorure de sodium, à la température de 15° centésimaux, il a reconnu qu'en la mêlant avec 100 et jusqu'à 200 volumes d'eau distillée, tous les liquides compris entre ces limites produisent, sur la fonte blanche, des oxidations évidemment plus tuberculeuses et mieux localisées que sur les autres espèces de fonte. Ces dernières présentent plus de points facilement attaquables et produisent des tubercules plus nombreux et par conséquent moins distincts. On voit donc que la fonte blanche, qui est moins oxidable par certaines eaux minérales, paraît mériter la préférence sur la fonte grise pour les tuyaux de conduite.

1074. Si l'on se reporte aux effets électriques que nous avons signalés précédemment (1059), on peut expliquer jusqu'à un certain point la propriété que possède la potasse de préserver le fer. Lorsque le fer est en contact avec de l'eau alcalisée, le métal prend peu à peu une charge d'électricité négative et l'eau une charge d'électricité positive. Ces deux électricités, malgré leur action attractive réciproque, restent en équilibre à la surface de contact qu'elles ne peuvent franchir. Il résulte de là que le fer étant constamment négatif, se trouve dans l'état le plus favorable pour repousser l'oxigène de l'air qui se trouve dans la solution. Comment se fait-il qu'en ajoutant une petite quantité d'eau salée à l'eau alcalisée, on n'ait plus de décharge instantanée, mais bien un courant continu, qui annonce que le fer est attaqué avec une certaine énergie? Cet effet vient en partie d'une meilleure conductibilité dans le liquide et de ce que les éléments du

sel marin étant séparés par l'influence des états électriques du fer et de l'eau alcalisée, activent l'action chimique.

§ IV. *Altérations du cuivre.*

1075. Le cuivre ne décompose pas l'eau, mais au contact de l'air et de ce liquide, il s'oxide et se combine avec l'acide carbonique ambiant, bien entendu que, par suite d'effets voltaïques, l'action est d'autant plus prompte que le métal est en contact avec des corps moins oxidables que lui.

La surface du cuivre se recouvre, à une légère chaleur, d'une couche de protoxide qui préserve l'intérieur de l'altération. Aussi emploie-t-on ce moyen pour garantir le cuivre de l'action simultanée de l'air et de l'eau.

1076. Le protoxide de cuivre cristallise aussi bien par l'effet des actions lentes que par celui de forces électriques (530).

M. John Davy est parvenu à les obtenir en n'employant que les affinités; mais il est facile de montrer que leur production, dans ce cas, est due à l'action des forces électiques. Cet habile chimiste ayant versé 6 gouttes des acides sulfurique, hydrochlorique et nitrique, dans 6 onces d'eau distillée, 3 fioles furent remplies exactement de ces mélanges, dans lesquels plongeaient des lames de cuivre polies, puis fermées hermétiquement. 69 jours après, il observa les résultats suivants : l'eau qui renfermait l'acide sulfurique était incolore, mais elle acquérait une faible teinte bleue par l'addition de l'ammoniaque. La lame de cuivre était légèrement ternie çà et là par l'oxide noir de cuivre. L'eau acidulée par l'acide hydrochlorique donna des résultats semblables. Il n'en fut pas de même de l'eau acidulée par de l'acide nitrique ; elle avait acquis une couleur bleue brillante, et le métal s'était recouvert d'une couche très-légère d'oxide de cuivre, faiblement adhérente. Les fioles ayant été fermées imparfaitement, les résultats furent différents. 8 mois après,

l'eau acidulée par l'acide sulfurique était saturée de cuivre et la lame recouverte d'une légère croûte d'oxide noir de cuivre, uniformément répartie, excepté la partie supérieure qui était plus corrodée que le reste. La solution où se trouvait l'acide nitrique était également saturée de cuivre; l'extrémité supérieure de la lame, située au-dessus de la dissolution et qui était encore humide, était recouverte d'un dépôt assez considérable de cristaux de protoxide de cuivre, de sous-nitrate et d'une très-petite quantité de cuivre à l'état métallique. Rien n'est plus simple que d'expliquer ces diverses formations, en s'appuyant sur les principes électro-chimiques : la partie supérieure de la solution, qui est la plus rapprochée de l'air, est naturellement plus saturée que celle qui est au-dessous, puisque le cuivre est oxidé immédiatement par l'oxigène de l'air; dès lors, comme dans l'expérience déjà citée (530), la lame de cuivre se trouvant plongée en même temps dans deux solutions à différents degrés de saturation, la portion qui est dans la solution la plus saturée se trouve être le pôle négatif d'un couple voltaïque, attendu que celle qui est la moins saturée prend à l'autre l'électricité négative, qu'elle transmet à la lame. Il est donc tout naturel que le protoxide de cuivre et même le cuivre métallique se déposent au haut de la lame. Le cuivre ne doit se montrer, comme dans les expériences électro-chimiques, que lorsque la différence entre la densité des deux solutions est la plus grande.

1077. Nous devons examiner actuellement les altérations que le cuivre et ses alliages éprouvent dans la suite des temps de la part des agents atmosphériques et des substances avec lesquelles ils sont en contact.

M. John Davy a consigné dans les *Transactions philosophiques* pour 1826 quelques observations intéressantes sur les altérations que des alliages de cuivre ont éprouvées dans la mer, depuis un certain nombre de siècles. Le premier alliage soumis à ses investigations était un casque en bronze, de forme antique grecque, qui

a été découvert dans la partie basse de la mer, entre la citadelle de Corfou et le village de Castrade. Il renfermait 18 pour cent d'étain. Sa surface était recouverte d'une couche de carbonate de chaux et de coquilles. Sous l'incrustation, le métal présentait des couleurs variées, mêlées de taches vertes, blanches sales et rouges. Les taches vertes et rouges avaient une structure cristalline, particulièrement les dernières qui étaient formées d'octaèdres de protoxide de cuivre et de cuivre métallique. Les taches vertes étaient principalement formées de carbonate et de sous-chlorure de cuivre, et la partie blanche composée presque entièrement d'oxide d'étain. En général, ces produits n'étaient que superficiels, car au-dessous de l'incrustation et de la rouille, l'alliage avait conservé tout son brillant métallique.

M. John Davy a trouvé des formations analogues sur un clou antique et un miroir trouvés, l'un dans un tombeau à Athènes, l'autre dans un tombeau à Samos. Les monnaies antiques qu'il a observées présentaient les altérations suivantes : D'abord des incrustations très-pâles, formées d'un mélange de vert et de parties blanches, qui contenaient une grande proportion d'oxide d'étain, peu de carbonate et de sous-chlorure de cuivre, puis des incrustations noires dues à la prédominance de l'oxide noir de cuivre. Les monnaies qui présentaient ce genre d'altération renfermaient très-peu d'étain.

Les incrustations vert bleuâtre consistaient principalement en carbonate de cuivre, mélangé quelquefois d'une petite portion d'oxide.

Les incrustations vert émeraude abondaient surtout en sous-chlorure de cuivre, et celles qui étaient rouges ne renfermaient presque entièrement que du protoxide de cuivre.

Il était naturel d'examiner s'il n'y avait pas des rapports entre la composition chimique des incrustations des anciennes monnaies et leur contexture. Quelques-unes étaient remarquablement unies, comme si elles avaient été polies, conservant parfaitement l'impression

originale de l'empreinte, tandis que d'autres étaient rongées et déformées.

M. John Davy attribue cette différence à la rapidité plus ou moins grande de la cause minéralisante.

Ce chimiste se demande comment ont été formés les cristaux, particulièrement ceux qui recouvraient le casque et qui adhéraient au dépôt calcaire. Il ne pense pas qu'ils aient été déposés par une solution.

Nous ajouterons à ces observations d'autres qui nous sont propres, qui pourront servir à jeter quelque jour sur un grand nombre de produits qui se forment par cémentation. Nous possédons des médailles grecques et romaines, jadis en bronze, changées entièrement en protoxide, sans que leurs formes aient été modifiées; seulement leur volume est plus considérable, la texture est excessivement serrée, et rien ne peut faire supposer qu'une solution ait pu s'introduire de l'extérieur à l'intérieur, pour transporter de l'oxigène au cuivre et enlever l'étain avec lequel il était combiné. Quelques-unes de ces médailles renferment des cavités, tapissées de cristaux de protoxide d'une grande netteté. D'autres, qui sont transformées en protoxide, présentent dans quelques parties des petits tubercules et même des cristaux de cuivre carbonaté vert (malachite) et de cuivre carbonaté bleu à côté des premiers. Enfin sur d'autres médailles on observe du cuivre noir, ayant un aspect cristallin.

Nous possédons aussi une lampe antique, recouverte d'une couche de carbonate de cuivre et de carbonate de chaux sous laquelle se trouvent, comme sur le casque antique de M. Davy, des cristaux de protoxide de la plus grande beauté, ayant un millimètre de côté.

Les monnaies changées entièrement en protoxide ne permettent pas de douter un seul instant que l'oxigène n'ait été transporté de l'extérieur à l'intérieur, par un effet semblable à celui qui produit la cémentation. Ce phénomène ne peut être que le résultat d'un mouvement moléculaire, puisque l'on ne peut supposer qu'une dissolution ait pénétré dans l'intérieur.

Nous avons déjà exprimé notre opinion sur la manière dont nous concevons la cémentation, en lui attribuant une origine électrique (1061), ainsi nous n'y reviendrons pas.

Quant à la présence des cristaux de protoxide de cuivre sous la croûte, composée de substances diverses, qui recouvrent quelques objets antiques en bronze, et qui tapissent les petites géodes que l'on trouve dans l'intérieur des médailles, on ne peut guère attribuer leur formation au mouvement moléculaire dont nous venons de parler.

Les notions que nous possédons sur les circonstances de leur production nous mettent à même de concevoir comment ils se trouvent déposés sur les objets antiques : la croûte qui recouvre ces objets une fois formée, le liquide placé au-dessous, ne communiquant que difficilement avec celui qui est à l'extérieur, a dû se saturer davantage de sels de cuivre. D'un autre côté, les portions sur lesquelles il ne s'est pas formé d'incrustation ont continué à être soumises à l'action des agents extérieurs. Il est résulté de là que l'électricité négative provenant de cette dernière action a été repoussée dans l'intérieur, de manière que la portion située sous la croûte qui n'était pas soumise à une action aussi forte que celle qui était à l'extérieur, est devenue le pôle négatif d'un couple voltaïque qui a réagi sur la dissolution enchâssée. Suivant l'intensité de cette action et le degré de concentration de la solution, on aura eu des cristaux de protoxide de cuivre ou de cuivre à l'état métallique.

Nous ferons remarquer que les altérations qu'éprouvent, en général, les médailles dépendent de la nature des terrains dans lesquels elles ont longtemps séjourné. Tous les antiquaires savent que dans les terrains volcaniques elles sont vert-émeraude; c'est le sous-chlorure de cuivre qui domine. Dans le royaume de Naples, loin du Vésuve, elles sont bleues; c'est alors le carbonate qui les colore. Dans les Marais Pontins, elles sont jaunes; du côté d'Agrigente, elles sont blanchâtres. Nous ne

possédons malheureusement que des renseignements généraux à cet égard. Il serait important, quand on trouve des médailles présentant des altérations bien prononcées, d'observer les circonstances locales qui ont pu les déterminer.

1078. L'altération du cuivre qui séjourne dans la mer est importante à examiner, à cause du doublage des vaisseaux qui est fait avec des lames de ce métal. Le dommage est tel pour l'État, que l'on a cherché les moyens d'y parer. Aussi est-ce un motif pour nous de traiter cette question aussi complétement qu'il est possible de le faire dans l'état actuel de la science. Nous indiquerons ensuite l'alliage qu'on a substitué au cuivre, comme étant moins destructible que lui.

§ V. *Des essais tentés pour préserver le doublage en cuivre des vaisseaux de l'action corrosive de l'eau de mer.*

1079. Davy est le premier qui ait fait des expériences sur l'application des combinaisons électriques à la conservation du doublage de cuivre des vaisseaux et à d'autres objets en métal. Nous allons essayer d'en donner ici une idée.

Lorsqu'on laisse un morceau de cuivre poli dans de l'eau de mer, la surface du métal se recouvre, dans l'espace de 2 ou 3 heures, d'une ternissure jaune, tandis que l'eau environnante se recouvre d'un léger nuage, dont la couleur, d'abord blanche, devient graduellement verte. Dans l'espace d'un jour, il se dépose au fond du vase un précipité vert-bleuâtre, qui va toujours en augmentant, en même temps que la surface du cuivre se corrode. Ce précipité paraît rouge dans l'eau, et d'un vert d'herbe quand il en est dehors. Du carbonate de soude se dépose sur cette matière d'un vert d'herbe. Ces changements continuent jusqu'à ce que l'eau soit devenue moins saline. Le précipité vert est formé de sous-chlorure d'hydrate de cuivre et d'hydrate de magnésie.

Ces effets sont dus à la présence de l'oxigène dans l'eau de mer, comme on le prouve aisément en opérant dans de l'eau de mer privée d'air; dans ce cas il n'y a aucun effet de produit. Le cuivre étant moins oxidable que le fer, il s'ensuit qu'en mettant ces deux métaux en contact, le premier deviendra négatif par rapport au second, et se trouvera par conséquent dans l'état électrique le moins favorable pour se combiner avec l'oxigène contenu dans l'eau de mer.

Davy ayant pris de l'eau de mer rendue légèrement acidulée par de l'acide sulfurique, y plongea un morceau de cuivre poli, auquel était soudé un morceau d'étain dont la surface était le 20e de celle du cuivre. Examinée 3 jours après, celle-ci était très-nette, tandis que l'étain avait été corrodé; on n'aperçut même aucune teinte bleuâtre indiquant la présence du cuivre; il en fut encore de même, en diminuant successivement les proportions de l'étain, jusqu'à ce qu'il n'y en eût plus qu'un 200e. Il obtint les mêmes effets avec le zinc, le fer ou la fonte, à quelque légère différence près. Le zinc produisit un faible nuage blanc, qui se précipita promptement au fond du vase, et le fer donna lieu à un précipité rouge foncé. Quelques semaines après, on ne trouva aucune trace de cuivre dans l'eau.

Dans le cours de ces expériences, Davy trouva qu'un morceau de zinc, gros comme un pois ou la tête d'un petit clou de fer, suffisait pour garantir 40 ou 50 pouces de cuivre, et cela en quelque endroit qu'il fût placé. Ayant pris un morceau d'un clou de fer, long à peu près d'un pouce, il le lia par un bout, au moyen d'un fil de cuivre d'un pied de long, à une feuille de cuivre de 40 pouces carrés : le tout fut plongé dans de l'eau de mer. Après une semaine, le cuivre avait été parfaitement garanti. Un petit morceau de zinc ayant été fixé au haut d'un morceau de cuivre, et un morceau de fer beaucoup plus gros placé en bas, le tout mis dans de l'eau de mer, non-seulement le cuivre fut préservé des deux côtés, mais même le fer, et après une dizaine de jours, le poli

du cuivre n'était pas altéré ainsi que celui du fer.

1080. Davy voulut appliquer les observations précédentes à la préservation du cuivre qui forme le doublage des vaisseaux.

Des feuilles de cuivre en contact, sur $\frac{1}{40}$ $\frac{1}{1000}$ de leur surface, avec du zinc, du fer ou de la fonte, ayant été exposées pendant plusieurs semaines au mouvement de la marée, dans le port de Portsmouth, et leur poids déterminé avant et après l'expérience, on trouva que lorsque le protecteur métallique avait une surface de $\frac{1}{40}$ à $\frac{1}{150}$ des feuilles de cuivre, il n'y avait ni corrosion, ni diminution dans le poids de ce métal. Quand le métal préservateur n'était que dans la proportion de $\frac{1}{200}$ à $\frac{1}{400}$, le cuivre éprouvait une perte de poids qui était d'autant plus forte que le protecteur était plus petit. En employant $\frac{1}{1000}$ de fer fondu, on préservait encore une certaine quantité de cuivre.

Si l'on compare le doublage des bâtiments protégés à celui de bâtiments semblables qui ne le sont pas, on trouve que la surface du premier est brillante, tandis que celle du second éprouve une corrosion rapide; celle-ci devient d'abord rouge, ensuite verte, et perd une partie de sa substance en écailles.

Davy conseilla de préférer la fonte aux autres métaux oxidables, en raison de son bas prix et de sa durée; la plombagine qui se produit à sa surface par l'action de l'eau de la mer n'altère point sa première forme, et n'empêche pas l'action électrique du métal qui reste.

Voilà donc un moyen très-simple de préserver de toute altération le doublage en cuivre des vaisseaux; mais on devait s'attendre à un inconvénient grave que nous allons signaler, et qui résulte de l'action chimique du couple voltaïque sur les substances dissoutes dans l'eau de mer. On ne tarda pas à observer qu'il se déposait des substances alcalines et terreuses sur le cuivre négatif. Quatre feuilles de cuivre, défendues à peu près sur $\frac{1}{35}$ à $\frac{1}{80}$ de leur surface par du zinc ou du fer, avaient été exposées pendant 4 mois à l'action de l'eau de mer;

ces feuilles furent recouvertes d'une matière blanche, composée principalement de carbonate de chaux, de carbonate et d'hydrate de magnésie.

1081. En mer, les feuilles de cuivre préservées des bâtiments se sont également recouvertes de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie; des plantes et des insectes s'y sont aussitôt rassemblés : dès lors le poids des bâtiments a été augmenté et leur marche ralentie. Davy, pour parer à cet inconvénient majeur, a fait diverses expériences, d'après lesquelles il a cru devoir conclure que des feuilles de cuivre, défendues par des surfaces de fonte ou de zinc dans la proportion de $\frac{1}{150}$, ne se chargeaient pas de matières alcalines et que les plantes n'y adhéraient pas. Cet effet, suivant lui, est dû à ce que le cuivre était moins négatif; nous ne partageons pas son opinion à son égard, parce que nous n'admettons pas l'action électro-motrice telle qu'il la concevait. Le fer ne garantit le cuivre que jusqu'à la limite où peuvent s'étendre les courants électriques produits dans la réaction de l'eau de mer sur l'un des deux métaux; aussi le métal est-il d'autant moins préservé que l'on s'éloigne davantage des points de contact des deux métaux.

Quoi qu'il en soit, la surface du cuivre étant restée parfaitement claire dans cette circonstance, Davy en a conclu que l'application d'une très-petite quantité de métal oxidable serait plus avantageuse que celle d'une plus grande quantité. On aurait besoin de faire de nouvelles expériences pour confirmer ce fait.

Davy a encore reconnu que de faibles solutions de sel agissent fortement sur le cuivre, tandis que de fortes solutions, comme la saumure, ne l'attaquent point. Il attribue cette différence d'effet à ce que cette dernière renferme peu ou point d'air.

1082. Lorsque le cuivre, armé avec de la fonte de fer, est placé dans un vase à moitié plein d'eau de mer et ayant ses surfaces partiellement au-dessus de la surface de l'eau, il se recouvre de carbonate de soude, de

carbonate de chaux et de carbonate de magnésie. Le carbonate de soude s'accumule graduellement jusqu'à ce que toute la surface exposée à l'air soit recouverte de ces cristaux. En plaçant le fer dans un vase, le cuivre formant arc avec lui dans un autre, et en plaçant un vase intermédiaire également rempli d'eau de mer, et en rapport électrique au moyen d'une mèche de coton, on trouve que l'eau du vase intermédiaire devient peu à peu moins saline, par suite de la réaction du courant sur les sels dissous dans l'eau.

M. Pepys a profité du principe de Davy pour garantir de l'action de l'air humide des instruments en acier renfermés dans des cases doublées de zinc.

§ VI. *Résultats des expériences comparatives faites sur le doublage en cuivre et en bronze des vaisseaux.*

1083. Dès l'instant qu'il fut démontré que le doublage en cuivre préservé augmentait peu à peu le poids du bâtiment, de manière à retarder sa marche, on chercha à arriver au même but, tout en évitant une partie de ces inconvénients, et pour cela on prit le bronze, composé de 94 parties de cuivre et de 6 d'étain. Les molécules de cet alliage pouvant être considérées comme autant de petits couples voltaïques, l'eau de mer tend encore à enlever l'étain; mais comme la force de cohésion est plus grande que celle du cuivre, il en résulte que, théoriquement parlant, le bronze doit être moins promptement altéré que lui par l'eau de mer. Une difficulté s'est présentée de suite quand on a voulu l'employer, c'est le laminage, en raison de sa dureté et de sa fragilité. M. Francfort est parvenu à la vaincre. Sur sa demande, le ministre de la marine française a ordonné des essais, dont nous allons rendre compte avec tous les détails que comporte l'importance du sujet.

1084. On a appliqué, sur un côté de la carène du cutter le *Renard*, des feuilles numérotées de bronze,

et de l'autre côté, des feuilles de cuivre rouge non préservées; les unes et les autres ont été posées sur une couche de feutre et fixées avec des clous fondus. Toutes les feuilles étaient de même dimension et avaient été pesées avec soin. La dépense des deux doublages était sensiblement la même.

Après 3 mois 13 jours d'amarrage dans le port de Cherbourg et 3 mois 10 jours de navigation, MM. Bretocq, directeur des constructions navales, et Rigaud de Genouilly, ingénieur de la marine (1), procédèrent à la visite des feuilles : elles furent levées avec soin, puis nettoyées et dépouillées de la couche de sous-chlorure qui les recouvrait. Les feuilles de cuivre placées du côté de tribord avaient perdu 1323 grammes, et celles de bâbord en bronze 751 seulement. Le cuivre avait donc perdu, comparativement au bronze, dans le rapport de 7 à 4 à peu près. On a remarqué que les feuilles qui présentaient des parties saillantes avaient éprouvé dans ces mêmes parties une destruction tellement prompte, qu'elles étaient souvent percées avant d'avoir perdu une partie notable de leur poids.

M. Robert, sous-ingénieur, constata, quatorze mois après, les résultats suivants (2) :

Le *Renard* étant rentré à Cherbourg, après une nouvelle campagne de 7 mois, la pesée des mêmes feuilles d'épreuve présenta une perte de 2150 grammes pour le cuivre et 920 pour le bronze, ce qui indique pour le premier une détérioration plus grande que dans le second, dans le rapport de 2,35 à 1. Pour la durée totale de l'épreuve, les pertes respectives sont de 3477 grammes, d'une part, et de l'autre 1671, nombres qui sont dans le rapport de 2,1 à 1. Le bronze a donc présenté des avantages marqués.

Nous avons dit, en rapportant les expériences de Da-

---

(1) Annal. marit., t. XLV, p. 142.
(2) Annal. marit., t. XLV, p. 142.

vy, que le cuivre devenu négatif se recouvrait de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie, de coquillages et de plantes marines, par suite de l'action du couple voltaïque sur les sels tenus en dissolution dans l'eau de mer. M. Robert fait observer à cet égard que les doublages en plomb, en alliage de plomb et d'antimoine, en zinc, présentent des effets semblables, et cependant ces métaux ne sont pas protégés; il semblerait, d'après cela, que l'adhérence des mollusques sur ces métaux est due à la couche produite par l'action de l'eau de mer, laquelle constitue alors l'élément électro-négatif. M. Robert a remarqué que lorsqu'une lame de cuivre est exposée pendant longtemps à l'action de l'eau de mer, il se forme à l'extérieur du sous-chlorure de cuivre verdâtre, et au-dessous de l'oxide de cuivre, sûrement du protoxide, qui est rouge-brun. Cet effet est facile à expliquer. La partie de la lame qui est en dehors de l'eau et celle qui est plongée dedans ne sont pas attaquées également; dès lors la lame forme à elle seule un couple voltaïque. La partie du métal qui est en contact avec la surface du liquide est plus attaquée; il doit donc se déposer des sels à base de cuivre qui, étant soumis à l'action voltaïque, sont décomposés, et la partie immergée se recouvre de protoxide de cuivre; c'est une expérience qui a été faite par M. John Davy.

Il a observé aussi que, dans les cuivres protégés, le sous-chlorure est adhérent, circonstance qui permet aux coquillages de s'y fixer.

1085. On a constaté encore, après 7 mois de navigation (1), que le cuivre avait perdu 2209 grammes et le bronze 1182, rapport 1,87.

1086. M. Robert fut chargé de nouveau, après 3 mois et demi de navigation, de faire un rapport sur l'état du doublage du même bâtiment. La partie en cuivre commençait à donner des marques de vétusté, tandis que le bronze n'offrait rien de semblable. Le cuivre avait perdu 1450 grammes et le bronze 642, rapport 2,41 qui est

(1) Annal. marit., t. XLV, p. 229.

le plus avantageux qu'on ait encore obtenu. Pour la durée totale des expériences, les 9 feuilles de cuivre avaient perdu 10,885 grammes, celles de bronze 5,073; ce qui donne pour rapport moyen 2,14.

Deux autres épreuves, sur le même bâtiment, ont conduit à peu près au même résultat.

1087. Pendant que le gouvernement français faisait faire des essais sur le doublage en bronze, M. Brunel, en Angleterre, se livrait à des investigations du même genre. Voici les résultats d'une expérience comparative sur le doublage en bronze et en cuivre faite par lui sur le paquebot le *Frolic*. Ce paquebot a parcouru des mers chaudes dans un voyage au Brésil, dans un autre à Malte et aux colonies. Après 17 mois de navigation, ce bâtiment a été inspecté le 10 novembre 1832, à Plymouth, en présence du chef des contributions de ce port, de MM. Robert et Francfort. La surface du cuivre n'était pas très-propre et très-unie, celle du bronze était noire et très-rugueuse; état que l'on a attribué à des causes accidentelles. Attendu que les feuilles de bronze étaient pailleuses, les pailles en se relevant et en se détachant avaient donné au bronze un aspect sale et rugueux.

A l'égard de la détermination de la perte du bronze et du cuivre, comme on n'avait pas préalablement pesé les feuilles appliquées au doublage du *Frolic*, on a été obligé d'avoir recours à 30 feuilles qui restaient en magasin; on les a pesées avec soin et on a trouvé 9 livres 3 onces 2 pour le poids moyen d'une feuille de bronze. La pesée d'un même nombre de feuilles de cuivre a donné 9 livres 5 onces 33 pour les feuilles de 32 onces au pied carré, et 8 livres 2 onces 66 pour celles de 28 onces au pied carré.

C'est sur ces données qu'on a procédé au pesage de 19 feuilles de bronze et d'autant de feuilles de cuivre placées symétriquement des deux côtés du bâtiment. On a trouvé que les pertes éprouvées sur les 19 feuilles de bronze et autant de feuilles de cuivre étaient dans le rapport de 1 à 1,75.

En comparant les résultats des expériences faites sur le *Renard*, aux mêmes poids et conditions que nous les avons présentées relativement au *Frolic*, on trouve que le bronze a perdu 4 onces 1gr., et le cuivre 9 onces 3gr. par pied de surface; ce qui donne une proportion de 1 à 2,22. On voit donc que le résultat de l'examen fait à Plymouth confirme complétement le résultat des rapports faits à l'égard du *Renard*, non-seulement sur la longue durée du bronze comparé au cuivre, mais encore sur les qualités nautiques qui auraient pu laisser quelque incertitude si le *Frolic* n'avait pas navigué exclusivement dans les mers chaudes.

Ces expériences ne sont pas les seules qui aient été faites pour comparer la durée du doublage en bronze à celle du doublage en cuivre. Nous allons rapporter les résultats de celles qui ont été faites sur d'autres bâtiments de l'État et du commerce.

1088. Le gouvernement français désirant avoir une solution complète du doublage, ordonna de nouvelles expériences.

M. Leroux, ingénieur à Cherbourg, fut chargé d'examiner, après deux ans de séjour dans l'eau de mer, le doublage moitié cuivre, moitié bronze de la corvette l'*Ariane*. Il résulte de cet examen que le dépérissement du cuivre plongé est exprimé par le rapport $\frac{31}{1000}$ et par $\frac{29}{1000}$ pour le bronze, et que la différence de déchet moyen par feuille est exprimée par 0 kil. 017 à l'avantage du bronze.

L'avantage obtenu par le bronze sur le cuivre, au bout de deux ans de séjour dans une mer tranquille, est si peu marqué, qu'on a lieu d'être surpris de la différence considérable qui existe entre les résultats obtenus à 7 reprises différentes sur le *Renard* et confirmés sur le *Frolic* et celui signalé par M. Leroux. Cet habile ingénieur, en rendant compte de cette différence, fait observer quil pourrait bien se faire que le dépérissement occasionné par le frottement à la mer modifiât les rapports obtenus dans une marche plus rapide, en raison

de la plus grande rigidité du bronze sur le cuivre pur.

1089. Sur cette même corvette, qui avait échoué dans le bassin du port de Toulon, le 20 mars 1834, c'est-à-dire, environ 20 mois après l'examen qui avait été fait par M. Leroux, M. Campaignac, ingénieur de la marine (1), a reconnu que le bâbord de la carène, doublé en bronze, était d'un aspect plus sale et présentait une plus grande quantité de plantes marines que le côté de tribord, doublé en cuivre. La cassure de bronze avait de la tendance en général à s'exfolier, ce qui n'avait pas lieu dans le cuivre rouge. Plusieurs feuilles de cuivre furent enlevées ainsi que celles de bronze correspondantes, pour être pesées après avoir été nettoyées. On trouva, comme précédemment, que le cuivre rouge se trouvait avoir un léger avantage sur le bronze.

1090. De nouvelles expériences furent ordonnées par le ministre de la marine, qui engagea en même temps le commerce à en faire de son côté, pour savoir à quoi s'en tenir sur les résultats contradictoires obtenus sur le *Renard* et l'*Ariane*.

Le brick le *Bisson* fut doublé, le 9 juin 1831, en cuivre rouge sur le côté de tribord, et en bronze sur le côté de bâbord. Les 23 et 24 avril 1833, on donna à ce bâtiment une demi-bande, successivement de chaque côté, de manière à découvrir à peu près les deux rangées supérieures des feuilles de doublage, situées au-dessous de la ligne de flottaison. Le bronze parut partout en bon état de conservation, dépourvu de coquillages et de végétation; il était seulement recouvert d'une couche assez épaisse de limon mêlé aux matières salines ou oxidées, provenant de l'action de l'eau de mer sur le métal. On enleva facilement, au moyen du lavage, la couche de dépôt la plus superficielle, sans entamer la croûte inférieure, qui était plus tenace et de couleur verdâtre. Six feuilles de bronze ayant été détachées, on aperçut un

(1) Annal. maritimes, t. LIII, p. 575.

petit nombre de parties isolées, où cette matière verdâtre reposait sur une couche friable de couleur rouge brun de protoxide de cuivre; en frappant avec un maillet, on fit tomber la couche verdâtre; en général, la couche intermédiaire n'existait pas; mais alors la couche verdâtre était tellement adhérente au métal que l'on avait de la peine à l'enlever. Les feuilles de cuivre correspondantes, placées à tribord, avaient une apparence moins limoneuse et étaient dépourvues également de coquillages et de végétaux; elles étaient toutes percées d'un bout du bâtiment à l'autre; ces perforations ne présentaient aucune des apparences qui pouvaient les faire attribuer à une déchirure ou à un frottement. Les pesées des deux espèces de feuilles ont montré d'abord que les 6 feuilles de cuivre avaient été corrodées au point d'être hors de service au bout de 22 mois et demi de séjour dans le port, bien qu'elles n'eussent éprouvé aucune faible perte absolue; il paraîtrait donc que l'action corrosive de l'eau de mer n'avait agi que sur des endroits isolés du métal, qui avait conservé presque toute son épaisseur primitive autour de chaque perforation. Les poids moyens des douze feuilles ont été trouvés sensiblement les mêmes.

1091. Un nouvel examen fut fait, le 13 mai 1834, sur le même bâtiment, ainsi que sur le porte bateau du bassin. M. Thomeuf reconnut que les surfaces des deux métaux ne présentaient ni coquillages, ni la moindre tache de végétation; qu'elles étaient seulement recouvertes d'une légère couche limoneuse, extrêmement molle, qu'on a enlevée facilement au moyen du lavage. La surface de cuivre était recouverte d'une couleur rouge brun, tandis que la surface du second ne présentait que çà et là une couleur verdâtre.

Dans les expériences faites à Cherbourg sur le *Renard*, le rapport de la détérioration du cuivre à celle du bronze a peu varié, puisque la moyenne a été de 2,20. Les épreuves faites à Lorient, sur le porte-bateau, fixent ce rapport à 2,04, nombre qui s'éloigne peu du précédent.

Sur le brick le *Bisson*, ce rapport n'a été que de 0,6.

1092. Nous venons de voir que sur ce bâtiment on avait constaté qu'après 22 mois et demi de séjour à flot dans le port, la plupart des feuilles de cuivre, voisines de la ligne de flottaison, qui avaient été immergées, étaient persillées et quelques-unes entièrement hors de service, tandis que les feuilles de bronze étaient toutes en bon état. A la même époque, on fit appliquer 6 feuilles de cuivre et autant de feuilles de bronze, portant chacune des marques particulières. Ces 12 feuilles furent visitées, après 12 mois de séjour dans le port; on trouva que le déchet moyen, dans chaque feuille, était de

114 grammes pour le cuivre.... et 221 grammes pour le bronze...	rapport 0,52.

En tenant compte de la couche d'oxide qui adhérait déjà à chaque feuille, lors de son application sur la carène, les déchets dus à l'action de l'eau de mer n'étaient plus que de

105 grammes pour le cuivre..... et 166 grammes pour le bronze...	rapport 0,63.

Ce rapport est le même que celui qui est énoncé plus haut.

1093. Le *Bisson* ayant été remis dans le bassin, après 3 ans 4 mois $\frac{1}{3}$ de séjour à flot, les deux doublages n'offraient pas de dépôts appréciables de coquillages ni de plantes marines. La couche de limon ayant été enlevée, on reconnut que le bronze était couvert d'une matière pulvérulente d'un rouge très-vif, qu'on a enlevée facilement. Le métal placé au-dessous était dans un bon état de conservation.

Quant au cuivre, les apparences extérieures étaient à peu près les mêmes, c'est-à-dire, que le métal avait son éclat naturel au-dessous de la matière pulvérulente rouge; il existait cependant d'autres endroits recouverts

d'une couche verte, qui adhérait fortement à la surface; les mêmes feuilles de cuivre étaient persillées dans beaucoup d'endroits de la carène, tandis que pas une seule feuille de bronze n'avait été jugée impropre au service.

Les pesées ont montré que le rapport de l'usure du cuivre à celui du bronze, dans la première période de 12 mois, en ne tenant pas compte de l'oxide préexistant, était de 0,52, et en tenant compte de l'oxide préexistant 0,63, et pour une nouvelle période de 6 mois 3,04. Ce dernier résultat donne une supériorité du bronze sur le cuivre, qui dépasse tout ce qu'on avait déjà observé à Cherbourg. On voit donc qu'au bout de 22 mois $\frac{1}{2}$ de séjour à flot dans le port, le cuivre du doublage, près de la flottaison, était déjà en mauvais état et en partie hors de service, tandis que les feuilles de bronze correspondantes étaient bien conservées. Après 3 ans 4 mois $\frac{1}{2}$, le doublage en cuivre s'est tellement avarié qu'il a fallu le changer en entier, tandis que pas une feuille de bronze n'a été remplacée. La matière rouge qui adhérait à la surface était composée : de protoxide de cuivre, d'un peu de deutoxide, de proto-chlorure de cuivre et d'une petite quantité d'oxide d'étain. Il est probable que cette matière, qui n'a pas été enlevée par le courant de la marée, l'aurait été par le sillage du bâtiment à la voile.

1094. Enfin un nouvel examen fut fait sur le même bâtiment, par M. Reich, sous-ingénieur de la marine (1). Après 5 mois $\frac{1}{2}$ de navigation, le *Bisson* est entré dans le bassin; le cuivre était alors tellement persillé qu'il a fallu le remplacer entièrement, tandis que le bronze était tellement bien conservé qu'on n'a pas changé une seule feuille; les déchets en poids obtenus des feuilles pesées et numérotées, s'éloignaient beaucoup moins de ceux qui avaient été obtenus à Cherbourg, de sorte que ces résultats concouraient à assigner au doublage en bronze une grande supériorité sur celui en cuivre.

---

(1) Annal. maritimes, t. LVII, p. 905.

1095. De nouvelles épreuves, faites sur le brick l'*Actéon* (1), ont montré que pour le bronze, comme pour le cuivre, l'usure a été plus forte à l'avant qu'au milieu, et plus forte au milieu qu'à l'arrière. Le rapport de la perte totale absolue du cuivre à celle du bronze a été de 2,250.

1096. La marine marchande s'est occupée aussi de l'emploi comparatif du cuivre et du bronze pour doublage des bâtiments (2). M. J. Winslow, armateur du Hâvre, est le premier qui ait fait des observations à cet égard. Il a fait appliquer sur le baleinier le *Bourbon*, en 1832, 20 feuilles de bronze pesant chacune 7 livres, et à côté même nombre de feuilles de cuivre d'un poids égal à celles de bronze. Ce bâtiment a fait deux voyages pour la pêche de la baleine avec ce doublage. Le premier a duré 8 mois 23 jours et le second 6 mois. Au retour, en mai 1834, une partie des feuilles de cuivre étant usée, on fit dédoubler le navire et l'on pesa séparément les feuilles de cuivre et les feuilles de bronze qui se trouvaient en contact les unes avec les autres. On a constaté qu'aucune feuille de bronze n'avait perdu plus de 4 onces de son poids primitif, tandis que chaque feuille de cuivre avait généralement perdu une livre et demie. La surface du bronze était très-nette et très-unie, et aucun corps étranger ne s'y était déposé.

M. Mortemar, armateur maritime (3), a fait également des essais avec le navire baleinier le *Cachalot*, qui a fait 19 mois de campagne, dont 17 sous voile.

Les personnes qui ont assisté à l'examen des feuilles de cuivre et de bronze, ont été partagées d'opinion sur l'état de leur conservation. Elles ont été d'avis que si les doublages en bronze présentaient toujours la supériorité sur les doublages en cuivre, elle était loin d'être aussi

---

(1) Annal. maritimes, t. LVII, p. 908.
(2) Annal. marit., t. LIV, p. 251.
(3) Annal. marit., t. LVII, p. 74.

prononcée qu'on l'avait observé à bord de quelques bâtiments.

1097. Telles sont les principales observations qui ont été faites jusqu'ici sur la comparaison des doublages en cuivre et en bronze; elles nous indiquent en résumé :

1° Que sur le cutter le *Renard*, à six reprises différentes, les pertes éprouvées par le cuivre et le bronze, soit à la mer, soit en repos, sont entre elles dans le rapport à peu près de 2,15 à 1; que les dépérissements des feuilles qui s'usent le plus sont dans le rapport de 3 à 1; que l'examen des carènes, sous le rapport de l'attache des coquilles, n'a signalé aucun désavantage pour le bronze; enfin, que le bronze, à égalité de propreté des deux bords, présente sur le cuivre l'avantage d'une surface plus lisse et plus unie;

2° Que M. Brunel, en Angleterre, sur le paquebot le *Frolic*, a confirmé les résultats précédents;

3° Que sur la corvette l'*Ariane*, après un séjour de deux ans dans une mer tranquille, le rapport n'a été que de 1,07 à 1 au lieu de 2,15 à 1;

4° Que sur le brick le *Bisson*, dans un premier examen, le rapport des pertes a été le même, mais le cuivre a été corrodé au point d'être hors de service, tandis que le bronze n'offrait rien de semblable;

Que dans des examens subséquents le rapport a d'abord été de 0,52, puis de 3,04, et s'est enfin rapproché de celui que l'on avait obtenu sur le *Renard;*

5° Que les essais tentés sur les bâtiments marchands ont confirmé les premiers résultats que le *Renard* avait fournis.

On voit donc que, sauf quelques exceptions, l'expérience a démontré que le doublage en bronze avait un avantage marqué sur le doublage en cuivre.

1098. Nous ne quitterons pas ce sujet important sans ajouter quelques observations à celles que nous avons déja présentées précédemment, touchant l'influence de l'action chimique de l'électricité sur l'altération du cuivre, du bronze, et en général des métaux, par l'influence

d'agents extérieurs. Toutes les fois qu'une lame d'un métal oxidable, parfaitement homogène, est exposée à l'influence d'agents capables de l'altérer, toutes les parties sont également attaquées, et l'action chimique de l'électricité dégagée dans la réaction ne peut exercer aucune influence sur elle; mais pour peu qu'il y ait défaut d'homogénéité, provenant de parties qui n'ont pas toutes la même force de cohésion ou de toute autre cause, il n'en est plus de même; ces parties deviennent les pôles de couples voltaïques; celles qui sont le plus attaquées sont les pôles positifs, celles qui le sont le moins les pôles négatifs : dès lors l'action chimique éprouve une activité nouvelle.

Ces effets doivent se reproduire dans des lames de métal passées au laminoir, attendu que la pression forcée qu'elles éprouvent rompt l'homogénéité en déterminant des déchirements, des solutions de continuité partiels qui sont surtout sensibles dans les alliages comme le bronze, qui se prête difficilement au laminage. Dès lors il est presque impossible d'obtenir des résultats identiquement les mêmes avec des lames placées dans les mêmes circonstances, si leur constitution n'est pas absolument semblable; aussi voyons-nous que le bronze qui avait servi au doublage du *Frolic* après plusieurs voyages, avait une surface très-rugueuse, effet que l'on a attribué à ce que les feuilles étaient pailleuses quand on les a appliquées sur le bâtiment. C'est par une cause du même genre que le doublage en cuivre du brick le *Bisson* a été corrodé dans un nombre si considérable de points qu'on a été obligé de le remplacer.

Il résulte de là, que si l'on veut obtenir les plus grands effets avec le doublage en bronze, il faut que l'on apporte tous les soins possibles au laminage des lames, afin qu'elles soient homogènes dans toutes leurs parties. Si cette condition n'est pas remplie complétement, on sera exposé à voir le bronze se détériorer plus fortement dans certaines parties que dans d'autres. Jusqu'ici on lamine à froid le bronze et on le réunit à une

température rouge obscure, après trois passages sous le laminoir; s'il était possible de le laminer à chaud, le métal aurait plus d'élasticité, il y aurait moins de déchirements, et l'on aurait rempli les conditions voulues pour assurer l'homogénéité aux lames. Nous devons ajouter aussi que les clous qui servent à fixer les lames de bronze doivent être composés du même alliage et doués, s'il était possible, de la même force de cohésion.

1099. Il ne faut pas croire que le bronze puisse être conservé indéfiniment dans l'eau de mer, sans éprouver de décomposition; tout ce que l'on peut désirer, c'est que cet alliage ait un avantage marqué pour sa durée sur le doublage en cuivre.

Les observations suivantes, qui sont dues à M. Robert, prouvent que le bronze finit par se décomposer complétement dans l'eau de mer. Cet ingénieur nous a remis un morceau entièrement décomposé, détaché d'une lame de bronze qui était restée deux ans dans une eau de mer tranquille. Ce morceau avait l'aspect d'une éponge, les parties n'avaient aucune cohérence et présentaient un volume beaucoup plus grand que celui qu'il avait avant sa décomposition; il s'en forme également sur les doublages en cuivre pur, mais ils sont plus difficiles à se procurer, parce qu'ils sont moins adhérents.

Ce même métal se perce en très-peu de temps aux endroits où il se forme des dépôts de sels, et les ouvertures ainsi formées sont parfois aussi tranchées que si on les avait faites avec un emporte-pièce. Dès qu'une petite cristallisation de ce genre s'établit, elle est d'abord imperceptible, puis l'on voit le métal se creuser dessous, à une profondeur proportionnée au développement que la couche a prise. M. Robert nous a transmis aussi quelques renseignements concernant les effets produits sur des cuivres protégés et sur des cuivres non protégés. Sur les doublages protégés ce sont des composés connus sous le nom de cendres bleues ou vertes. Sur les cuivres non protégés, la couche qui se forme est verte à l'extérieur et d'un rouge foncé à sa face de con-

tact avec le cuivre; dans le premier cas, l'oxide est adhérent et ne se détache qu'en poussière; dans le deuxième, c'est-à-dire quand la couche rouge existe, il suffit d'une chaleur capable de le dessécher pour qu'il se lève en écailles et en plaques.

On a remarqué avec raison que l'altération des métaux qui servaient au doublage des vaisseaux commençait sur les arêtes dans les parties des lames qui avaient été pliées; nous en avons déjà dit la cause, nous la rappellerons de nouveau. Dans ces parties, les molécules ont été mises dans un état forcé, la force de cohésion est moins grande; dès lors elles sont plus accessibles à l'influence des agents extérieurs, et comme les portions environnantes sont moins attaquées, il en résulte une foule de couples voltaïques dont l'action augmente l'énergie des altérations.

1100. Dans la marine marchande, on double les vaisseaux en zinc, à cause de son bas prix. Ce doublage dure, dit-on, autant que celui en cuivre. L'expérience a prouvé que lorsque les lames de zinc sont chevillées et clouées en fer, il n'existe aucune action réciproque de l'un de ces deux métaux sur l'autre, bien qu'ils soient en contact immédiat; il en est encore de même quand les clous sont étamés. Cela vient probablement de ce que la couche de sous-oxide de zinc s'oppose à l'action voltaïque.

Nous croyons avoir rapporté tous les documents que l'on a pu recueillir jusqu'ici sur les moyens de perfectionner le doublage métallique des vaisseaux. Nous devons en appeler maintenant à l'expérience pour connaître des faits de détail que la théorie ne peut indiquer.

§ VII. *Altération du plomb.*

1101. Lorsque le plomb reste exposé à l'air, sa surface se recouvre d'une couche de sous-oxide de plomb, d'une couleur bleu-grisâtre, dont la teinte devient de plus en plus foncée.

Ce métal s'altère également dans l'eau. L'effet est tel-

lement sensible que si l'on conserve pendant quelque temps de l'eau distillée dans un vase de plomb, elle ne tarde pas à acquérir la propriété d'exercer une faible réaction alcaline sur les papiers à réactif.

1102. Guyton Morveau et Philips Yorke (1), qui ont fait quelques expériences à cet égard, ont observé les effets suivants : lorsque l'on conserve du plomb dans de l'eau distillée aérée, il se forme de l'hydrate de plomb et l'eau dissout $\frac{1}{12000}$ de son poids de cet hydrate ; de l'hydrocarbonate en très-petits cristaux brillants et de l'oxide anhydre en petits cristaux dodécaèdres en lamelles grisâtres. Ce dernier produit se sépare par cristallisation de la dissolution aqueuse et se dépose sur les corps étrangers. Toute action cesse si l'eau est parfaitement privée d'air.

Quand l'eau tient en dissolution une petite quantité de sel, son action est considérablement diminuée et il ne se forme qu'un peu d'oxide.

1103. Le plomb est employé dans une foule de cas, en raison de son prix peu élevé et de la propriété qu'il possède d'être réduit en lames très-minces; c'est pour ce motif qu'on en couvre les toits des édifices, qu'on en fait des réservoirs et des tuyaux. On a remarqué que le plomb laminé, employé à couvrir les bâtiments, éprouve un genre de décomposition assez singulier ; il se fendille, s'effeuille, comme si toutes les parties se désunissaient, et finit par s'oxider complétement; aussi évite-t-on de se servir de lames de plomb ainsi préparées, quand il s'agit de les exposer à l'air humide.

Le plomb, comme tous les métaux qui s'altèrent spontanément, jouit de la propriété, en raison des effets électro-chimiques qui en résultent, de décomposer les solutions salines avec lesquelles il est en contact. A l'instant où il s'oxide, s'il se trouve dans un lieu humide où il se produit une grande quantité d'acide carbonique, il se

(1) Philosoph. mag., août 1834.

forme du carbonate de plomb sous forme de lamelles; si l'action est lente, on a des cristaux.

1104. Nous avons différents moyens d'obtenir le carbonate de plomb; nous allons en indiquer plusieurs pour montrer les ressources dont dispose l'électro-chimie.

1er *procédé.* — On prend un tube courbé en U au fond duquel se trouve de l'argile très-pure. Dans l'une des branches on met de l'eau et dans l'autre une solution de bicarbonate de soude; dans la première plonge une lame de plomb en communication avec un appareil voltaïque fonctionnant sans interruption, et dans l'autre une lame de platine. L'appareil doit avoir assez d'énergie pour opérer la décomposition du bicarbonate. L'oxigène et l'acide carbonique se transportent sur le plomb et se combinent avec lui : le carbonate formé est en lamelles assez brillantes.

2e *procédé.* — M. Paillette est parvenu à l'obtenir en cristaux très-nets, en faisant usage de l'un de nos apparels. Voici les circonstances qui l'ont mis à même de reproduire ce composé : les empreintes des cristaux de carbonate de chaux ayant été reconnues dans le fil d'Huelgoat au milieu de quartz amorphe, on a dû en conclure que ces carbonates avaient existé jadis dans ces portions de la veine métallifère. D'un autre côté, les carbonates de plomb existant en grande abondance près des places où se trouvaient les couches de carbonate de chaux, il était naturel de penser que les carbonates de chaux eux-mêmes, décomposés par le sulfate de fer et d'alumine, avaient réagi en même temps sur des galènes déjà altérées, d'où était résulté du carbonate de plomb. Pour rendre probable cette conjecture, M. Paillette a fait l'expérience suivante avec l'appareil (557) déjà décrit. Le bocal A, fig. 3, contenait une solution de chlorure de sodium et une plaque de zinc; le bocal B de l'eau distillée et du carbonate de chaux artificiel dans la partie inférieure; le bocal C du sulfate de cuivre et une lame de même métal en communication, au moyen d'un fil de cuivre, avec la lame de zinc. A et B communiquaient par l'intermédiaire d'une

lame de plomb, B et C avec un tube rempli d'argile humectée avec une solution de nitrate de potasse. L'action du couple voltaïque *zmc* ayant décomposé le sulfate de cuivre, le cuivre s'est précipité sur *c'*, tandis que l'oxigène et l'acide sulfurique ont été transportés vers *b;* en traversant le tube, l'acide sulfurique a chassé l'acide nitrique et s'est combiné avec la potasse; l'acide sulfurique et l'oxigène ont été transportés sur la lame de plomb, sur laquelle ils ont réagi; mais comme le carbonate de chaux, en contact avec le métal, était soumis aussi à la réaction électro-chimique, il en est résulté du carbonate de plomb qui a cristallisé en jolis cristaux sur la lame, et du nitrate de chaux qui est resté en dissolution. Cet appareil aurait réagi avec plus de force encore, si, au lieu de joindre A et B avec une lame de plomb, on eût employé une lame mi-partie de platine et de plomb, le bout platiné plongeant dans A.

3e *procédé.* — Au fond d'un tube de verre fermé, de 4 millimètres de diamètre et de 1 décimètre de long, on met du carbonate de cuivre artificiel, de manière à occuper deux ou trois centimètres en hauteur; on verse dessus une solution saturée de sel marin, et l'on plonge dedans une lame de plomb, qu'on descend jusqu'à l'extrémité du tube, puis on ferme le tube pour empêcher l'évaporation. Le plomb n'étant pas attaqué également par le sel marin en haut et en bas, acquiert des propriétés électriques en vertu desquelles il réagit sur le carbonate de cuivre.

Ce composé est réduit lentement; la partie inférieure de la lame de plomb qui est recouverte de cuivre se trouve être le pôle négatif d'un couple voltaïque dont la partie supérieure est le pôle positif.

Pour interpréter les effets produits, il faut se rappeler que lorsque le plomb est en contact avec une solution de sel marin, il en résulte un double chlorure de plomb et de sodium; la liqueur devient alcaline, par suite de la décomposition du sel. Dès l'instant que l'acide carbonique et l'oxigène, qui proviennent de la décomposition

du carbonate de cuivre, arrivent sur la partie supérieure de la lame, il se forme du carbonate de plomb qui cristallise au milieu du double chlorure.

Voici comment on peut expliquer toutes ces réactions dans la théorie atomique :

Corps en présence et produits formés.	Composition atomique.
Carbonate bi-basique de cuivre.	1 at. de deutoxide de cuivre. 1 at. d'acide carbonique. 2 at. d'eau.
Chlorure de sodium.	1 at. de sodium.
Plomb.	2 at. de chlore.
Chlorure de plomb.	1 at. de plomb. 2 at. de chlore.
Carbonate de plomb.	1 at. de protoxide. 1 at. d'acide carbonique.
Double chlorure de plomb et de sodium.	1 at. d'eau de chlorure de sodium. 1 at. de chlorure de plomb.

Dans la formation d'un atome de double chlorure, un atome de sodium devient libre ; dans la décomposition d'un atome de carbonate bi-basique de cuivre, 1 atome d'oxigène, 1 atome d'acide carbonique et 2 atomes d'eau se portent sur le plomb ; d'où résulte 1 atome de carbonate de plomb.

On obtient également le carbonate de plomb en opérant avec de l'eau distillée, au lieu d'eau salée.

Nous pourrions citer d'autres méthodes pour obtenir le carbonate de plomb cristallisé, mais celles qui précèdent suffisent pour montrer avec quelle facilité il se produit. Il faut que le plomb s'oxide lentement en présence de l'acide carbonique à l'état naissant.

1105. Nous allons donner quelques exemples de formation spontanée de carbonate de plomb. En 1833, nous visitâmes le château d'eau de l'Abattoir de Limoges, où il existe un grand réservoir en plomb ; nous fûmes fort

étonné de le trouver recouvert extérieurement, dans quelques parties, de lamelles d'un blanc éclatant de carbonate de plomb, quoiqu'il ne fût en place que depuis deux ans. Ces lamelles étaient plus abondantes sur les parties humides et non aérées que sur celles qui étaient exposées à des courants d'air.

Dans la partie basse, où l'air était le plus chargé de vapeurs aqueuses et où se trouvait le fond de la cuve, les efflorescences formaient des épaisseurs de plusieurs millimètres. L'air constamment humide était donc, ici, une des causes principales de la prompte altération des lames de plomb, qui finiront par être perforées, si l'on ne parvient à l'arrêter. Voyons quelles sont les causes qui concourent avec l'air humide à cette action.

La cuve repose sur des supports en bois, qui s'altèrent en raison de l'humidité qui règne dans l'enceinte et en particulier dans le caveau. Or, on sait depuis longtemps que le bois se détruit peu à peu sous l'influence simultanée de l'eau et de l'air, et qu'il se produit de l'acide carbonique. Si la cuve eût été placée sur des massifs en maçonnerie, on aurait déjà évité une des causes de la formation de cet acide. Il est donc probable que l'altération rapide du plomb provient 1° du défaut de renouvellement d'air et de l'extrême humidité; 2° de la décomposition du bois qui fournit une certaine quantité d'acide carbonique, laquelle n'étant pas enlevée par les courants d'air, réagit immédiatement sur le plomb avec d'autant plus d'énergie que le métal est en contact avec le ligneux déjà décomposé, ce qui détermine la circulation du fluide électrique. Règle générale : Quand des agents quelconques réagissent inégalement sur une lame de métal, il y a autant de piles qu'il y a de points inégalement attaqués ; ainsi, si sur la surface il y a des points qui n'éprouvent aucune action, d'autres une action très-forte, d'autres des actions très-faibles, d'autres enfin qui sont en contact avec des métaux, du charbon ou d'autres corps organiques décomposés, ces points sont autant de centres d'actions voltaïques qui donnent une

nouvelle énergie aux actions chimiques. C'est ce que l'on a souvent l'occasion de remarquer dans le fer exposé à l'air, et en particulier sur les lames de plomb dont il est ici question. Aussi n'est-on pas étonné de voir que les efflorescences sont très-abondantes à côté des endroits où le plomb semble être préservé par le bois. Voyons les moyens que l'on pourrait employer pour éviter la formation du carbonate. En Suède, on a reconnu que plusieurs couches de couleur rouge de peroxide de fer, appliquées sur le bois, suffisent pour le préserver, pendant plusieurs siècles, des actions combinées de l'eau et de l'air. M. Berzelius cite des maisons bâties depuis trois cents ans, qu'on habite encore, et qui ont été préservées par ce moyen. D'un autre côté, en aérant convenablement les lieux, on enlève les vapeurs d'eau et l'acide carbonique qui sont les principales causes de l'altération du plomb; voilà, je crois, ce qu'il y a de mieux à faire pour l'instant.

Les causes de destruction dont nous venons de parler ne se manifestent pas, ou du moins se manifestent peu sur les feuilles de plomb qui recouvrent nos bâtiments, parce que les causes ne sont plus les mêmes.

1106. Nous avons dit que le contact des corps étrangers suffit pour altérer assez promptement le plomb, quand il est resté à l'humidité. En voici une preuve irréfragable : une médaille de plomb recouverte d'une feuille d'or battue, très-mince, a été placée pendant quelques années dans une armoire humide, elle s'est recouverte d'une poussière blanche de carbonate de plomb, suffisamment épaisse pour masquer entièrement la couleur de l'or. Ce carbonate provient de la réaction de l'acide carbonique de l'air sur le plomb, qui a été transporté de l'intérieur de la médaille à l'extérieur, à travers les petits interstices de la feuille d'or, par l'action du courant électrique résultant du contact des deux métaux et de l'altération du plomb par l'eau, l'oxigène et l'acide carbonique de l'air. Il est probable que l'eau n'a servi ici que de véhicule. Cet exemple prouve qu'une feuille d'or bat-

tue, appliquée sur du plomb qui se trouve dans un endroit humide, hâte son altération. Rien de semblable n'arrive sur le dôme des Invalides, attendu que l'or est appliqué directement sur une préparation adhérente au plomb, qui préserve ce dernier de l'action du contact. Si la dorure disparaît peu à peu, la cause en est purement mécanique, comme nous nous en sommes assuré récemment. Nous rapporterons encore un fait à l'appui des observations que nous venons de présenter; nous possédons un morceau du cercueil en plomb de Théodoric, roi des Goths, qui est presque entièrement changé en carbonate de plomb. Ce morceau nous a été remis par M. Necker de Saussure, qui l'a détaché du cercueil même, à Ravennes, dans un endroit humide, où il est resté pendant un grand nombre de siècles.

§ VIII. *Altération de l'argent, du zinc et de l'étain.*

1107. L'argent n'est pas altérable au contact de l'eau et de l'air, mais s'il reste exposé dans les lieux habités, il se recouvre d'un composé de couleur violette. On remarquait jadis, au rapport de Proust, cet effet sur les statues d'argent des deux anges placées aux deux côtés du maître-autel des Jésuites de la rue Saint-Antoine; le temps les avait recouvertes d'un enduit violet-obscur et plombé.

Le même chimiste ayant enlevé d'une ancienne pièce d'argenterie l'enduit violacé dont elle était chargée, l'a trouvé composé uniquement de sulfure d'argent. Cet effet provient des émanations sulfureuses qui s'échappent du corps de l'homme.

L'argent doit donc éprouver une altération rapide dans les milieux où il existe en abondance des sulfures qui peuvent lui céder une portion de leur soufre; nous possédons trois pièces de monnaie, jadis d'argent, qui ont été changées en sulfure, par un séjour de quelques années dans une fosse d'aisances. Leur forme est sensiblement la même qu'avant leur formation, de sorte que

la sulfuration s'est opérée par des effets de cémentation semblables à ceux qui ont changé en protoxide de cuivre les monnaies antiques de bronze dont nous avons déjà parlé. Une de ces pièces est recouverte, dans une partie, de cristaux très-nets de sulfure d'argent de 1 millimètre de côté. Nous nous bornons à indiquer cet effet, sans chercher à l'expliquer, en raison du grand nombre de substances qui se trouvent réunies dans les lieux d'aisances.

1108. L'argent éprouve aussi une altération très-marquée quand il séjourne longtemps dans l'eau salée ou dans la mer. Proust a observé que les piastres tombées au fond de la mer, lors du naufrage d'un vaisseau, le *San-Pedro-Acantara*, s'étaient recouvertes, dans un court espace de temps, d'une croûte de chlorure d'argent d'un demi-millimètre d'épaisseur.

M. de Humboldt a eu l'occasion de faire la même observation, pendant son séjour au Pérou, lors du naufrage de la frégate *Santa-Loecadice* sur les côtes de la mer du Sud.

Pallas assure aussi (1) qu'en Sibérie, sur les rives du Jaik, on a trouvé d'anciennes monnaies tartares converties en chlorure d'argent par le contact d'un terrain qui est imprégné de chlorure de sodium.

1109. Dans les appareils électro-chimiques, où l'argent est en contact avec une solution concentrée de sel marin et un morceau de charbon, il se forme des cristaux octaèdres de double chlorure d'argent et de sodium, lesquels sont décomposés au contact de l'eau. D'après les faits précédents, la double combinaison ne se produit pas dans les solutions qui ne sont pas concentrées.

1110. Le zinc qui reste longtemps exposé au contact de l'air se recouvre d'une couche de sous-oxide d'un gris clair, qui n'éprouve plus aucune altération de la part de l'air humide. L'épaisseur de cette couche ne paraît

---

(1) Nordische Beiträge, t. III, p. 64.

pas augmenter; il pourrait cependant y avoir un effet de cémentation analogue à celui qui change quelquefois les médailles de bronze en protoxide. Le sous-oxide est très-dur et résiste mieux que le métal lui-même à l'action mécanique et à l'action chimique de divers agents. Ces qualités du zinc, outre son bas prix, doivent le faire rechercher pour la couverture des bâtiments.

M. Berthier, qui a eu l'occasion d'examiner l'état d'une couverture en zinc faite depuis vingt-cinq ans, a constaté que le métal s'est recouvert d'une légère couche grisâtre, qui s'est maintenue en parfait état jusqu'à ce jour, sans que l'oxidation superficielle ait fait aucun progrès. On doit conclure de là que la couche grisâtre conserve le métal intact pendant de longues années.

L'étain se conserve longtemps à l'air sans altération; mais avec le temps il prend une teinte jaunâtre et des nuances irisées qui indiquent un commencement d'oxidation. Nous possédons un vase en étain qui est resté pendant plusieurs siècles dans la terre et dont la surface est recouverte d'une couche assez épaisse d'oxide.

Davy a avancé que l'étain préservait le fer de l'oxidation de l'eau de mer, et que l'on pouvait se servir par conséquent de cette propriété pour garantir d'altération les chaudières des bateaux à vapeur.

M. Vanbeck a été conduit par l'expérience à une conséquence tout à fait opposée; savoir, qu'un morceau d'étain placé dans l'intérieur d'une chaudière à vapeur contenant de l'eau de mer, au lieu d'empêcher l'oxidation du fer, contribue au contraire à sa prompte altération. Voici les expériences qui ont mis à même ce physicien d'émettre une opinion contraire à celle de Davy :

1° Une plaque de fer de 65 millimètres carrés, placée dans un verre cylindrique contenant environ un demi-litre d'eau de mer, fut promptement corrodée; 42 jours après, la surface de la plaque était fortement oxidée, et une couche épaisse d'oxide s'était déposée au fond du vase;

2° Une semblable plaque de fer, à laquelle était attaché un petit morceau d'étain poli, de 23 millimètres carrés, fut placée, pendant le même temps, dans une même quantité d'eau de mer; bientôt le fer fut fortement oxidé, tandis que l'étain n'éprouva aucune altération bien sensible. Au bout de 42 jours, la quantité de peroxide de fer déposée au fond du vase égalait au moins celle qu'on avait obtenue dans la première expérience;

3° Une plaque d'étain, de 65 millimètres carrés, à laquelle était attaché un petit morceau de fer, de 23 millimètres carrés, fut exposée à l'action de l'eau de mer; le fer fut promptement oxidé, tandis que la plaque d'étain conserva constamment son poli;

4° Deux lames d'étain et de fer, disposées comme dans l'expérience précédente, au lieu d'être mises directement en contact, furent séparées par une lame mince de mica et placées dans de l'eau de mer; l'étain fut attaqué, tandis que 14 jours après le fer n'avait encore éprouvé qu'une faible oxidation;

5° Une plaque d'étain polie, exposée à l'action de l'eau de mer, montre promptement des signes évidents d'oxidation particulièrement sur les aspérités.

Ces diverses expériences prouvent que le fer, qui éprouve une forte altération, quand il est placé seul dans l'eau de mer, n'est nullement préservé par le contact de l'étain; tandis que ce dernier métal, qui est légèrement oxidé par l'eau de mer lorsqu'il est seul, est préservé par le contact du fer.

Ces faits nous ont paru assez intéressants pour trouver place ici.

CHAPITRE V.

DE LA FORMATION SPONTANÉE DE L'AMMONIAQUE ET DE QUELQUES AUTRES COMPOSÉS.

§ Ier. *De la formation spontanée de l'ammoniaque.*

1111. On a pu voir, d'après tous les faits qui ont été exposés jusqu'ici, et la marche que nous avons suivie, que notre but est d'examiner ce qui se passe dans le contact de substances diverses réunies en tas, ou formant des magma; les effets produits devant être attribués non-seulement au jeu des affinités, mais encore aux actions électriques de contact, rentrent dans le domaine de l'électro-chimie et, sous ce rapport, doivent attirer toute notre attention.

L'ammoniaque se forme fréquemment dans les décompositions électro-chimiques, ainsi que dans certaines actions spontanées. Nous devons donc étudier les circonstances principales dans lesquelles cet alcali prend naissance, afin d'établir une relation entre l'un et l'autre mode d'action.

Nous savons que lorsque l'on soumet à l'action de la pile de l'eau distillée, au moyen de deux lames de platine, il se forme de l'ammoniaque sur la lame négative par suite de la combinaison de l'hydrogène de l'eau décomposée avec l'azote de l'air ou des substances organiques qui se trouvent dans l'eau. De même dans les appareils électro-chimiques simples, tels que celui qui sert à produire des cristaux de protoxide de cuivre (530), et qui est composé d'une lame de cuivre, de deutoxide et

d'une solution de nitrate du même métal, l'eau est décomposée ainsi que l'acide nitrique, et il en résulte du nitrate d'ammoniaque qui cristallise en longues aiguilles. En général, dans les actions électro-chimiques lentes, où les éléments de l'eau sont séparés, il y a également formation d'ammoniaque.

1112. Cet alcali se produit aussi dans certaines circonstances qui ont été étudiées par M. Faraday et dont on doit tenir compte dans les expériences dont il sera question ci-après. Cet habile chimiste ayant soupçonné que plusieurs causes pouvaient contribuer à la formation de l'ammoniaque, a cherché à déterminer quelques-unes d'entre elles. Ayant mis un petit morceau de zinc à surface bien nette dans un tube avec un fragment de potasse et ayant chauffé l'extrémité du tube de manière à fondre l'alcali, le papier de curcuma placé à l'autre extrémité fut rougi. La formation de l'ammoniaque n'est pas due ici à la présence de l'azote de l'air, attendu que l'on a obtenu le même résultat en opérant dans l'hydrogène.

1113. Du sable chauffé au rouge dans un creuset, puis refroidi sur une plaque de cuivre, n'a donné aucune trace d'ammoniaque, en le mettant dans un tube de verre, avec de la potasse et opérant comme précédemment; mais on en a obtenu très-sensiblement en tenant le sable quelques instants dans la main. La soude, la chaux et la baryte substituées à la potasse, ont donné le même résultat. Le potassium, le fer, l'étain, le plomb, l'arsenic, les métaux oxidables enfin, substitués au zinc, ont donné beaucoup d'ammoniaque dans les mêmes circonstances, tandis que l'éponge de platine, l'argent, l'or, etc., c'est-à-dire les métaux non oxidables, ou peu oxidables, ainsi que les oxides métalliques, n'ont produit rien de semblable.

1114. Il résulte de là que les métaux ou autres substances ne paraissent agir que d'après la propriété dont ils jouissent d'enlever l'oxigène à l'eau qui est indispensable au succès de l'expérience. La nature des substances

exerce une influence déterminante sur la production du phénomène, puisque le ligneux, l'oxalate de potasse, celui de chaux, l'acétate de chaux, donnent des quantités sensibles d'ammoniaque, tandis que les acétates de potasse et de plomb, le tartrate de potasse, le sucre, la cire, la résine, l'alcool et l'éther ne produisent aucun effet. Quant aux substances qui contiennent de l'azote, la quantité d'ammoniaque formée est d'autant plus grande que l'on a employé plus de potasse.

1115. Nous devons faire remarquer que la chaux et la potasse bien préparées ne donnent point l'ammoniaque en les chauffant seules, mais qu'elles acquièrent la propriété d'en produire quand elles ont été exposées à l'air pendant quelques instants. On voit par là que la présence d'un alcali et d'une matière organique est une condition essentielle au succès de l'expérience. L'alcali agit très-probablement en aidant à la décomposition de la matière organique qui fournit l'azote à l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau.

Dans l'expérience où l'on a fait agir du zinc, de la potasse contenant des traces de corps organisés, et de l'eau, il y a évidemment couple voltaïque, dont l'action sur le corps organisé aide à celle de la potasse.

1116. Parlons maintenant des actions spontanées qui donnent naissance à l'ammoniaque, et voyons jusqu'à quel point les observateurs se sont mis en garde dans leurs essais contre les effets précédents, pour constater son existence dans les divers cas que nous allons passer en revue.

Vauquelin a trouvé que la rouille qui se forme sur le fer, dans les maisons habitées, contient ordinairement des vapeurs ammoniacales. Il a constaté ce fait en chauffant la pièce d'essai dans un tube de verre fermé par un bout où il avait introduit une bande de papier de tournesol rougie par un acide et mouillée. Dès l'instant que la matière fut chaude, une vapeur jaunâtre s'en exhala et changea en bleu la couleur rouge du papier.

Le même chimiste a avancé que la rouille qui se forme

sur le fer dans l'intérieur des maisons absorbe les vapeurs ammoniacales qui s'y développent et les y retient assez fortement; mais il n'est pas nécessaire d'avoir recours à cette explication pour démontrer l'existence de l'ammoniaque dans la rouille, attendu qu'elle se forme, comme nous l'avons dit précédemment, toutes les fois que l'eau réagit sur le fer au contact de l'air.

1117. M. Chevalier a prouvé aussi, de la manière suivante, que le fer en s'oxidant au contact de l'eau et de l'air donne naissance à de l'ammoniaque. Ayant introduit de la tournure de fer, parfaitement décapée, dans de l'eau distillée renfermée dans un flacon dont l'ouverture plongeait dans le mercure, du papier tournesol rougi par un acide introduit 10 heures après dans le flacon a été ramené au bleu. Quelques jours après, l'eau ayant été saturée par l'acide hydro-chlorique, on a obtenu une quantité sensible de chlorure d'ammoniaque.

M. Chevalier a reconnu aussi la présence de l'ammoniaque dans différents minerais de fer, tels que le fer oligiste lamelliforme de l'île d'Elbe, la variété compacte de Framont, le fer oxidulé, le fer hématite, l'hyénite, le fer oxidé terreux, enfin dans le résidu des eaux de Passy après l'évaporation.

La présence de l'ammoniaque dans les oxides de fer naturel et les composés de ce métal est très-importante pour la géologie, puisqu'elle nous semble indiquer que ces oxides et ces composés proviennent de l'altération du fer par l'eau. Aussi ne craignons-nous pas d'ajouter d'autres preuves à celles que nous venons de donner.

M. Boussingault a expérimenté sur des minerais de fer nouvellement tirés de terre et sur les lieux mêmes, afin de montrer que la formation de l'ammoniaque ne devait pas être attribuée au séjour prolongé de ces minerais dans les maisons habitées, où l'on supposait qu'ils absorbaient des vapeurs ammoniacales.

Il opéra sur du fer oxidé hydraté, qui se trouvait en filons dans la mine d'or de Cumba. Le minerai fut traité avec de l'eau distillée renfermant un peu d'acide hydro-

chlorique. L'eau de lavage ayant été évaporée, le résidu fut introduit avec un fragment de chaux vive dans un tube de verre fermé par une extrémité. Le mélange, humecté et chauffé légèrement, laissa dégager de l'ammoniaque.

On a cité encore quelques exemples de la présence de l'ammoniaque dans les minéraux, entre autres dans certaines substances argileuses, mais nous pensons en avoir dit assez pour montrer qu'elle se forme dans un grand nombre d'actions lentes, et principalement dans celles où les courants électriques prêtent un puissant appui aux affinités.

1118. On prouve encore la formation spontanée de l'ammoniaque de la manière suivante :

On prend des lames polies de fer, de zinc, de plomb et d'étain, sur lesquelles on verse une couche très-mince d'eau distillée, et l'on applique dessus des bandes de papier de curcuma. Une demi-heure après, la couleur jaune passe au rouge dans quelques points, puis s'étend. La couleur rouge disparaît au feu. Si l'on remplace les bandes de papier de curcuma par du papier joseph et qu'au bout de 12 heures on les expose à l'action de la chaleur dans un tube au haut duquel on a mis du papier à réactif humide, on a aussitôt la réaction alcaline.

Il est prouvé par là qu'il y a formation d'ammoniaque toutes les fois qu'un métal facilement oxidable se trouve en contact avec l'eau et l'air.

1119. Lorsqu'on répand une dissolution de sulfate de potasse sur une lame de fer, on obtient des effets électro-chimiques qui conduisent à des résultats analogues. L'oxidation du fer commence aussitôt, le métal prend l'électricité négative et la solution l'électricité positive ; quelques parties de la surface se recouvrent d'oxide, il en résulte de petits couples voltaïques formés de fer, d'oxide et d'eau ; le métal est le pôle positif et son oxide le pôle négatif. Dès lors celui-ci doit attirer l'hydrogène de l'eau qui se combine avec l'azote de l'air dissous dans l'eau ; cette opération doit marcher d'autant plus vite

qu'il y a plus d'oxide de formé. L'action voltaïque exerce encore son action sur le sulfate de potasse pour opérer sa décomposition; la potasse qui est mise à nu se combine avec l'acide carbonique de l'air, tandis que l'acide sulfurique forme avec l'oxide de fer un sous-proto-sulfate de fer, lequel se combine avec le sulfate de potasse. Cette combinaison se décompose peu à peu, à mesure que le métal passe à un état supérieur d'oxidation. L'expérience marche plus rapidement quand on opère avec de la limaille de fer, que l'on humecte de temps à autre. La dissolution acquiert alors promptement la faculté de rougir la couleur du curcuma, et l'on n'y reconnaît alors aucune trace de fer, ce qui dénote que la combinaison du sous-sulfate de fer avec le sulfate de potasse est insoluble; dans ces diverses réactions il se produit également de l'ammoniaque.

1120. Peut-on employer ce procédé en grand, pour décomposer les sulfates de potasse et de soude et obtenir ainsi les carbonates de ces deux bases? Voici l'expérience qui a été faite à cet égard : sur une plaque de tôle, de deux décimètres de côté, nous avons mis huit décagrammes de limaille de fer et 3 grammes de sulfate de potasse, avec suffisamment d'eau distillée pour humecter toute la masse, qui a été tenue constamment humide; 6 jours après on a lavé, à quatre reprises différentes, la plaque et la limaille, puis l'on a filtré et évaporé; le résidu salin pesait 2gr 15; traité avec le chlorure de barium, pour en précipiter tout l'acide sulfurique, on a eu 2gr 15 de sulfate de baryte, qui représentent 0,74 d'acide sulfurique. Cette quantité correspond à 1gr 60 de sulfate de potasse; en retranchant ce nombre de 2gr 15, il reste 0,55 de carbonate de potasse, qui provient de la décomposition de 0,70 de sulfate de potasse. Ainsi, dans l'espace de 6 jours environ, un quart de sulfate de potasse a été décomposé; on n'a retrouvé que 2gr 15 de salin que parce qu'une partie du double sulfate qui est restée sur le filtre n'est décomposée que par de nombreux lavages.

§ II. *Considérations sur la formation du nitrate de potasse.*

1121. Quoique nous n'ayons pas des raisons aussi péremptoires pour rattacher la formation du salpêtre à des effets électriques que nous en avons eu pour y ramener, dans un grand nombre de cas, la formation de l'ammoniaque, cependant, comme l'un des éléments de ce sel, l'acide nitrique, se forme dans les temps d'orage par suite de la réaction des décharges électriques sur l'oxigène et l'azote de l'air, ainsi que dans un grand nombre d'actions électro-chimiques où l'oxigène et l'azote se trouvent l'un et l'autre à l'état naissant, il est convenable d'examiner le rôle que peut jouer cet acide dans la nature.

M. Liebig (1) a analysé 77 résidus obtenus par l'évaporation d'autant d'eau de pluie : tous contenaient du chlorure de sodium sans trace de potasse ; le manganèse et le fer manquaient quand les eaux avaient été filtrées préalablement. Elles renfermaient également des matières organiques.

Sur les 77 échantillons d'eau, il y en avait 17 qui provenaient de pluies orageuses et qui contenaient tous de l'acide nitrique en quantité très-différente combiné avec la chaux ou avec l'ammoniaque. Parmi les autres échantillons, il n'y en avait que deux qui continssent des traces d'acide nitrique.

Il est bien prouvé par là, comme l'avait déjà observé Cavendish, que la foudre en éclatant dans l'air détermine la formation d'une quantité assez notable d'acide nitrique qui est entraînée par la pluie. Si cette eau est absorbée par des roches poreuses, sur lesquelles elle puisse réagir, il en résulte des nitrates qui produi-

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXV, p. 329.

sent des efflorescences dans les endroits qui sont à l'abri de la pluie et des injures de l'air.

1122. Voilà une des manières d'expliquer la présence des nitrates dans des localités où il n'existe ni matières animales ni matières végétales. Mais nous sommes bien éloigné d'admettre que telle est la cause des nitrières en général. Par exemple, le nitrate de chaux existe dans un grand nombre de puits en Suède, il est naturel de rapporter sa formation au voisinage des habitations; car Luiscius, qui a analysé 12 eaux de puits à Gessen, a trouvé dans toutes des nitrates, tandis que des eaux tirées de puits situés à quelques centaines de pas de la ville n'en renfermaient aucune trace. Il faut en conclure que la présence des matières animales a exercé une influence déterminante sur la production de ces nitrates.

1123. Nous n'avons nullement l'intention d'exposer les diverses théories qui ont été données de la nitrification, attendu que nous nous éloignerions du but que nous nous proposons dans cet ouvrage; nous rapporterons seulement plusieurs des circonstances principales où le nitre se forme, afin que l'on puisse apercevoir quelques-unes des causes qui président à sa production.

M. John Davy a visité, dans l'île de Ceylan, 22 cavernes desquelles on extrait le nitre (1). Les roches dans lesquelles elles sont creusées contiennent toujours, au moins, du carbonate de chaux et du feldspath. Suivant le chimiste anglais, la décomposition du feldspath et la réaction du carbonate sur l'oxigène et l'azote de l'air donnent naissance à du nitrate de chaux qui se change en nitrate de potasse, par suite de son action sur le silicate de potasse que perd le feldspath.

Le salpêtre se forme à la surface de la roche, là où l'air a accès, et il est toujours accompagné de nitrate de chaux et de magnésie; de plus on n'en trouve pas sur

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xxv, p. 205.

les roches qui ne renferment ni chaux ni feldspath. Il est d'autres circonstances qui favorisent aussi la formation du salpêtre, c'est l'existence d'un peu d'humidité et d'une petite quantité de matière animale. Néanmoins M. John Davy n'adopte pas cette opinion, quoique dans les grottes de Ceylan on y trouve généralement des excréments de chauves-souris. A l'appui de son opinion, il cite la nitrière de Mémorra, où on trouve du nitre, quoiqu'il n'existe aucune trace de matière animale.

1124. Au volcan de Chalusset, dans les environs de Pontgibaud, département du Puy-de-Dôme, il existe une coulée de lave, excessivement poreuse, qui forme un escarpement abrupt et très-élevé au-dessus de la Sioule. On trouve dans cette masse du salpêtre disséminé en petites houppes cristallisées blanches.

1125. On sait que la betterave qui a crû dans un sol trop fumé contient une assez grande quantité de nitre, tandis que lorsqu'elle se trouve dans des terrains maigres et sablonneux, elle n'en renferme pas sensiblement. M. Braconnot ayant pris des feuilles de cette dernière, les ayant liées en botte et suspendues à des ficelles pour les dessécher dans un lieu médiocrement éclairé, chaud et un peu humide, au bout de quelques mois, les pétioles de ces feuilles étaient entièrement pénétrées et couvertes d'une multitude innombrable de petits cristaux de salpêtre. Il paraît que l'acide nitrique avait remplacé les acides oxalique et malique, qui avaient disparu entièrement. La quantité de salpêtre était si considérable que les pétioles brûlaient rapidement comme une mèche d'artifice, à l'approche d'un corps en ignition.

1126. A la Roche-Guyon, à peu de distance de Paris, il existe des nitrières qui sont l'objet d'une exploitation; elles se composent d'une craie très-poreuse, dont les couches coupées à pic se trouvent exposées à l'action directe des rayons du soleil. La Seine coule au pied des collines où se trouvent les terrains crayeux. Les habitants grattent la surface des couches deux fois l'an. On enlève quelques millimètres d'épaisseur que l'on traite comme

des plâtras salpêtrés. Le résidu crayeux qui reste après les lavages est façonné en pains et abandonné aux influences atmosphériques, qui déterminent une nouvelle formation de nitre. Suivant M. Dumas, qui a visité les lieux, il ne paraît pas que la matière animale soit assez abondante pour qu'on puisse lui attribuer la formation presque indéfinie des nitrates qui y prennent naissance.

Suivant cet habile chimiste, la grande quantité d'eau qui s'évapore du sol voisin et même de la Seine, et qui renferme en dissolution des matières organiques, est absorbée par la craie et y dépose des résidus organiques qui aident à la formation du nitre. La craie serait donc une sorte d'éponge se desséchant à la surface et reprenant par la capillarité l'humidité aux couches voisines, et qui de proche en proche fait arriver de loin les matières animales déposées dans le sol.

Dans cette localité on a observé un fait qui est une forte objection contre les partisans de la doctrine qui attribue le rôle essentiel aux matières animales; il existe dans ces nitrières des cavités creusées par les exploitants, qui servent de caves, d'écuries et même de pigeonniers, et dans lesquelles il ne se produit pas de nitre. Il faut dire aussi que les parois de ces cavités sont formés d'un calcaire, qui n'est pas poreux comme la craie.

§ III. *De la production du double phosphate d'ammoniaque et de magnésie dans les matières animales.*

1127. M. Mitscherlich a observé sur un calcul urinaire des cristaux de double phosphate d'ammoniaque et de magnésie parfaitement caractérisés. Comment ont-ils pu être formés, ou du moins comment cette substance s'est-elle séparée de l'urine pendant le court séjour qu'elle a fait dans la vessie, de manière à pouvoir cristalliser? c'est ce que nous ne pouvons expliquer.

Nous avons constaté nous-même la formation spontanée du même composé dans des matières fécales. Un

morceau de bois qui avait flotté pendant deux ans dans une fosse d'aisances, était recouvert dans la partie en contact avec le liquide, de cristaux de double phosphate d'ammoniaque et de magnésie de 3 ou 4 millimètres de longueur, formant des prismes droits rhomboïdaux. On conçoit comment cette cristallisation s'est effectuée : les matières fécales et surtout l'urine renferment un grand nombre de sels, particulièrement celui dont il est ici question, qui est retenu en dissolution par un acide. Cet acide vient-il à être enlevé par l'ammoniaque qui se forme aux dépens de l'urée, alors les sels insolubles se précipitent; aussi voit-on se déposer dans l'urine abandonnée à elle-même pendant quelques jours le double phosphate en aiguilles par suite d'une cristallisation confuse.

Dans la fosse d'aisances les mêmes phénomènes ont dû se reproduire, particulièrement à la surface du liquide; mais comme le sel, à mesure qu'il se déposait, était remplacé par d'autre venu de l'intérieur, on conçoit comment de gros cristaux ont pu se former, surtout quand il se trouvait là un corps étranger servant d'appui aux premiers rudiments formés de ces cristaux.

L'électro-chimie parvient à former également ce composé. Soit PQN un tube recourbé en U (fig. 4), rempli dans sa partie inférieure d'argile humide; P la branche qui communique, au moyen d'une lame de platine, avec le pôle positif d'une pile d'une vingtaine d'éléments, et N celle qui communique avec le pôle négatif. On verse dans celle-ci de l'urine fraîche, dans l'autre du chlorure de magnesium. L'eau est d'abord décomposée, mais le dégagement d'hydrogène est à peine sensible, parce que ce gaz réagit sur l'azote des matières animales pour former de l'ammoniaque. Le chlorure de magnesium est également décomposé; le chlore est mis à nu, et la magnésie se rend dans l'urine où elle donne naissance peu à peu à du phosphate ammoniaco-magnésien qui cristallise sur la lame de platine en prismes droits à base rhomboïdale, comme la substance trouvée sur le calcul urinaire

et sur le morceau de bois. On voit par là que dès l'instant que la magnésie arrive dans l'urine transportée par le courant, il y a aussitôt formation du double phosphate.

En substituant du chlorure de sodium à celui de magnesium, il y a formation abondante et cristallisation de phosphate ammoniaco-sodique.

On conçoit parfaitement la différence qui doit exister entre les effets produits dans l'urine, quand on y ajoute immédiatement de la magnésie ou de la soude pour saturer l'excès d'acide, et ceux qui sont produits lorsqu'on y fait arriver pour ainsi dire une à une au moyen des courants l'une de ces deux bases.

On peut également obtenir le double phosphate sans employer d'urine. Soit toujours le tube P Q N, disposé comme il a été dit : on verse dans la branche P une solution de chlorure de magnesium et dans l'autre une solution de phosphate d'ammoniaque. Si la pile est composée d'une douzaine d'éléments, la magnésie est transportée dans le tube négatif et y forme un double phosphate de magnésie et d'ammoniaque qui se précipite peu à peu sans aucune apparence de cristallisation ; mais si le phosphate d'ammoniaque est dissous dans l'acide nitrique, il n'en est plus de même : la cristallisation s'effectue sans difficulté.

§ IV. *Des produits qui se forment journellement dans les tourbières.*

1128. La tourbe qui est formée de débris de substances herbacées ou d'autres végétaux en décomposition, étant d'une formation moderne ou peu ancienne, donne naissance à divers composés qui rentrent dans le cercle de nos investigations, puisque ces décompositions résultent du contact d'un grand nombre de corps.

On distingue deux espèces de tourbe, les tourbes des marais et les tourbes marines. Les premières constituent

deux variétés, la tourbe fibreuse composée de végétaux fibreux déterminables, et la tourbe limoneuse, compacte, qui ne conserve aucune trace de débris de végétaux.

1129. La tourbe des marais se trouve, comme son nom l'indique, dans les parties basses qui ont servi de fond d'étang ou de lac d'eau douce et est recouverte d'un mètre au plus de terre végétale : elle renferme ordinairement des substances minérales, des débris de corps organisés qui, en réagissant sur les substances environnantes, produisent des pyrites, du phosphate de fer pulvérulent qui enveloppe quelquefois les racines ou les tiges des végétaux dont se compose ce combustible. On y rencontre aussi des couches de sable et de marne qui ont été déposées par les alluvions, des coquilles fluviatiles dont les animaux ont été décomposés, des armes, des outils, etc.

1130. Les tourbes en général ne se forment qu'autant que le terrain inférieur est argileux, et que le sol a une disposition telle, que l'eau s'y renouvelle peu à peu, quoiqu'il soit constamment humide. On a remarqué que la nature calcaire, gypseuse ou argileuse des roches qui exercent une certaine influence sur la pureté de l'eau et sur les propriété de celle des végétaux, peut s'opposer à la formation de la tourbe ou la favoriser.

Les conferves, les prêles et les charras, ainsi que plusieurs graminées à tige rampante, sont les plantes qui contribuent le plus à la formation de la tourbe.

1131. Les marnes marines sont celles dans lesquelles on trouve des végétaux marins et des corps organisés marins. Il existe aussi des tourbes sous-marines, qui sont formées quelquefois d'une grande accumulation de végétaux ligneux, d'arbres et de plantes qui croissent dans les forêts. Elles renferment aussi des débris d'animaux terrestres.

1132. La tourbe pyriteuse du département de l'Aisne est remarquable sous le rapport de quelques composés qui se forment souvent en peu de temps. Des observa-

tions suivies ont été faites à cet égard par M. Poiret (1). Cette tourbe, qui est plus ou moins compacte, est pénétrée de sulfure de fer qui s'enflamme spontanément à l'air et donne naissance à une grande quantité de sulfate de fer. Les couches qui la composent sont régulières et horizontales et alternent avec des lits de marne et d'argile; elles reposent sur un fond marécageux et renferment un grand nombre de coquilles fluviatiles dont les analogues se retrouvent vivants dans les étangs et les rivières environnantes. Les couches supérieures renferment quelquefois, au lieu de tourbe, des lits entiers de charbons fossiles, quelquefois pyriteux. Dans celles qui recouvrent la tourbe on trouve des couches alternatives de marne, de sable, d'argile et de terre végétale, un grand nombre de coquilles marines isolées, des bancs d'huîtres, la plupart réduites en poussière et en fragments.

1133. Dans cette tourbe on trouve confondus ensemble des bois fossiles, des troncs entiers d'arbres quelquefois pyriteux à l'endroit des nœuds, des bois pétrifiés, beaucoup de pyrites, du succin de diverses couleurs, des os fossiles, des cristaux de quartz, des roches calcaires, diverses substances minérales, des ocres, du cuivre, du zinc probablement à l'état de sulfures, du sulfate de soude, de l'alun, des cristaux de gypse, qui acquièrent un volume assez considérable dès l'instant que les marnes qui les renferment sont exposées au contact de l'air. Elles sont ordinairement noirâtres, sulfureuses et un peu humides. Voilà un grand nombre de formations modernes qui doivent attirer l'attention de l'électro-chimiste.

On conçoit parfaitement qu'il a dû s'opérer une foule de réactions dans un tel agglomérat de substances diverses. Considérons d'abord les substances végétales :

1134. Les plantes réunies en tas à l'air libre éprouvent, par l'effet de l'eau, de l'air et de la chaleur, une

(1) Journ. de Phys., t. LI, p. 362.

décomposition telle qu'il se dégage de l'hydrogène et du gaz acide carbonique. Il se forme en même temps des huiles, des résines, etc. Il se sépare des végétaux, du carbone, de la silice et des sels. Quand les plantes sont recouvertes d'eau, et communiquent difficilement avec l'air, les effets sont beaucoup plus lents : la plupart des éléments gazeux sont encloisonnés dans les dépôts vaseux des marais; les sels solubles sont enlevés, tandis que le carbone reste en abondance et constitue la masse de la tourbe.

1135. La tourbe pyriteuse est pénétrée de toute part de sulfure de fer qui est cristallisé, surtout dans les coquilles, dans les fentes ou les cavités des bois fossiles. Cette tourbe pyriteuse ne renferme point de bitume, ce qui tendrait à faire croire que la pyrite dépend de la réaction du bitume sur le sulfate de chaux qui a fourni le soufre au fer répandu dans la masse.

Quand les tourbes pyriteuses sont exposées à l'air, il s'établit une espèce de fermentation par suite de la réaction de l'air et de l'eau sur les deux éléments de la pyrite. Il se sublime du soufre qui cristallise en filaments capillaires à sa surface et se dégage de l'hydrogène sulfuré : en définitive les pyrites sont transformées en peroxide de fer. L'acide sulfurique, en réagissant sur l'argile, produit de l'alun, et sur le calcaire, du sulfate de chaux.

1136. Sage a observé dans du terreau de 3 ans, qui n'avait pas encore servi à la végétation, une grande quantité de cristaux de quartz dont il a pu suivre le développement; ainsi donc les particules de silice qu'abandonnent lentement les végétaux en décomposition, peuvent se grouper régulièrement, parce qu'elles se trouvent alors à l'état naissant, c'est-à-dire dans la position la plus favorable, soit pour entrer en combinaison, soit pour cristalliser.

1137. Davy, dans l'examen qu'il a fait des manuscrits sur papyrus trouvés à Herculanum (1), a reconnu qu'ils

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. x, p. 414.

n'ont pas été carbonisés par l'opération du feu, et qu'ils se trouvent dans un état analogue à celui à la tourbe. Leurs feuilles, en général, sont réunies par une substance particulière produite dans une longue suite de siècles par la fermentation et les changements chimiques de la matière végétale dont ils se composaient. Guidé par ces vues théoriques, il est parvenu à découvrir la nature de cette substance et a fini par trouver une méthode à l'aide de laquelle il a séparé les fragments sans altérer les caractères ainsi que la contexture des manuscrits.

1138. Nous avons vu que dans les tourbières il se forme journellement du phosphate de fer et des pyrites. Nous allons revenir sur ces formations qui intéressent l'électro-chimie.

1139. Le fer est capable de se combiner, en vertu d'actions lentes, avec l'acide phosphorique des matières animales et le soufre qui provient de la décomposition de l'acide sulfurique.

Nous allons rapporter quelques exemples de ces décompositions, en indiquant en même temps comment on peut les obtenir en employant l'action combinée des affinités et de l'électricité.

Il y a quelques années, à Saint-Yrieix, on a déblayé les terres qui avaient servi à combler, il y a plusieurs siècles, un des fossés de la ville, et dans lesquelles se trouvaient entassés pêle-mêle des ossements d'animaux, des troncs d'arbres, des débris de végétaux et des fragments de gneiss. La plupart des débris de végétaux étaient entièrement recouverts de cristaux microscopiques, blanchâtres, de fer phosphaté, qui, au contact de l'air, prirent une couleur bleu indigo.

1140. Le bois sur lequel était déposé ce fer phosphaté était entièrement carbonisé; il avait servi évidemment de point de départ pour la formation de ce composé. Il faut donc qu'une cause quelconque ait attiré le fer et l'acide phosphorique. Cette simple observation nous a mis sur la voie pour reproduire le phosphate bleu. Dans les diverses réactions chimiques qui ont eu

lieu dans le magma, il y a eu dégagement continuel des deux électricités, lesquelles, pour reformer du fluide neutre, ont suivi les corps les plus conducteurs en contact avec les particules agissantes, et particulièrement les substances carbonisées, qui dès lors ont servi à fixer quelques-uns des éléments. D'un autre côté, quand on abandonne à l'action spontanée une lame de fer plongée dans une dissolution de phosphate d'ammoniaque, le fer s'oxide, et décompose le phosphate ammoniaque; l'alcali est mis à nu, et il se forme un perphosphate blanc de fer; mais si, au lieu d'une plaque de fer, on soumet à l'expérience un couple voltaïque formé d'une lame de cuivre et d'une lame de fer, il se forme également du perphosphate, et en outre une petite quantité de phosphate bleu, mais seulement dans la partie la plus rapprochée des points de contact du fer et du cuivre. Ce phosphate est en très-petits cristaux d'un beau bleu, dont la couleur est masquée par le perphosphate blanc, qui se décompose. La formation de ce dernier est due aux actions combinées du phosphate d'ammoniaque, de l'eau et de l'air sur le fer; tandis que celle du phosphate bleu provient évidemment d'une action électrique. Rien n'est plus simple que de donner un plus grand développement à la formation de ce phosphate et de l'obtenir dégagé du perphosphate qui masque sa couleur. Prenons un tube recourbé en U, rempli dans sa partie inférieure d'argile légèrement humectée; dans une des branches versons une solution de phosphate de soude, et dans l'autre une solution de sulfate de cuivre; puis dans celle-ci plongeons une lame de cuivre et dans l'autre une lame de fer, et faisons-les communiquer ensemble par la partie supérieure. Le fer est le pôle positif d'un couple voltaïque, et le cuivre le pôle négatif; celui-ci décompose le sulfate, attire le cuivre, tandis que l'oxigène et l'acide sulfurique se transportent dans l'autre branche. L'oxigène oxide le fer; l'acide sulfurique en se combinant avec la soude chasse l'acide phosphorique : il en résulte du sulfate de soude, qui reste dissous, et

du protophosphate de fer qui se dépose sur la lame de fer, sous la forme de petits tubercules cristallins, blanchâtres, lesquels deviennent d'un beau bleu par l'action prolongée de la pile, ou bien en les exposant à l'air; ils possèdent en outre les propriétés du phosphate bleu naturel. Cette réaction n'a lieu qu'autant que l'action est lente, circonstance indispensable pour que les molécules prennent un arrangement cristallin; car si l'on veut accélérer l'action en mettant la lame de fer en communication avec le pôle positif d'une pile d'un certain nombre d'éléments, et la lame de cuivre avec le pôle négatif, on n'obtient alors que le phosphate de fer ordinaire. D'après cela, une condition indispensable à la formation du phosphate bleu est une réaction lente.

On voit maintenant comment la nature a dû agir pour produire le phosphate de Saint-Yrieix et des gisements analogues; pour peu que les matières carbonisées aient été mises en contact avec le fer ou son protoxide, il en est résulté des piles analogues aux précédentes. L'expérience suivante montrera comment agissent les corps organisés. Nous avons mis une pyrite efflorescente entourée d'un fil dans une soucoupe contenant une solution de phosphate de soude. Les réactions n'ont pas tardé à se manifester. Il s'est formé du sulfate de fer, du perphosphate blanc de fer, et dans les parties du fil qui adhéraient à la paroi de la soucoupe, de petits tubercules cristallins de phosphate bleu.

Dans la même localité, nous avons fait une remarque qui n'est pas sans quelque importance pour la géologie et la minéralogie.

1141. On a vu précédemment qu'on avait trouvé dans les déblais une grande quantité de fragments de gneiss, en partie décomposés; cette décomposition a eu lieu dans le sens des couches. En examinant avec attention les surfaces mises à découvert, on a vu que les lames de mica étaient recouvertes de phosphate de fer bleu lamellaire, de sorte que, si l'on n'eût pas été pré-

venu que ce composé se trouvait en abondance dans cette localité, on aurait cru avoir découvert une nouvelle variété de gneiss. En enlevant ces lames bleues et les traitant par l'acide sulfurique, toute la matière bleue s'est dissoute, et il n'est plus resté que des lamelles blanches, incolores, de mica. Il faut conclure de ce fait que le phosphate de fer a été formé par la réaction des dissolutions renfermant des phosphates alcalins ou terreux sur le fer du mica qui a été enlevé à la manière des cémentations. L'action capillaire des fissures a produit ici les mêmes effets que ceux que nous avons fait connaître dans la réduction des oxides de cobalt et de nickel dans des tubes de verre à petits diamètres.

1142. M. Fournet a eu occasion d'observer aussi des faits semblables à Pontgibaud, département du Puy-de-Dôme. Le dépôt qui renferme le phosphate de fer paraît avoir servi de lit à un ancien lac. Dans une fouille dont M. Fournet fut témoin, on trouva sous la terre végétale proprement dite un dépôt très-profond d'une sorte d'argile verdâtre, sale, sableuse, extrêmement chargée de fibrilles végétales et surtout de mica en petites paillettes d'un jaune sale, qui lui ôtaient sa cohérence en lui communiquant une texture un peu schisteuse. Ce dépôt était très-imbibé d'eau qui se réunit naturellement dans la fosse. Elle passe pour malsaine, impotable, fétide et susceptible de se colorer en vert; au moins c'est ce qui a été dit plusieurs fois à M. Fournet par des personnes qui avaient tenté de creuser des puits dans le voisinage et qui l'avaient déjà rencontrée à la profondeur de 3 ou 4 pieds.

C'est dans cette argile micacée que sont disséminées très-abondamment des taches de phosphate de fer d'un beau bleu, nuance qu'il conserve à l'air. Quelquefois ce composé paraît revêtir la surface interne de petites géodes qui, à en juger par leur forme arrondie, peuvent être considérées comme le résultat de soufflures produites par l'expansion de quelque gaz. M. Fournet n'a pas remarqué que la fibre végétale ait été plus spécialement imprégnée

de cette substance minérale; elle lui a paru seulement fortement décolorée. Le phosphate de fer, en se desséchant, devenait terreux sans perdre l'intensité de sa nuance.

1143. Sage a décrit aussi un phosphate de fer, trouvé à Luxeuil, dans un ancien canal de construction romaine, au milieu d'une espèce de tourbe ligneuse, d'ossements altérés, presque friables, et pénétrés d'oxide de fer; les cristaux étaient assez gros pour qu'il ait pu en déterminer la forme. Toutes ces substances ayant réagi les unes sur les autres, depuis un grand nombre de siècles, il n'est pas étonnant que les cristaux aient acquis plus de volume que ceux qui ont été trouvés à Saint-Yrieix.

1144. Les pyrites se forment très-fréquemment dans les tourbières, et quelquefois dans les tuyaux de conduite de certaines eaux minérales; nous devons donc nous arrêter quelques instants sur cette formation qui fait partie des actions lentes.

Le proto-sulfure de fer que l'on trouve quelquefois dans la nature est composé d'un atome de fer et d'un atome de soufre, c'est-à-dire que ces deux éléments s'y trouvent dans la même proportion que dans le proto-sulfate de fer; il résulte de là que si ce sel est en contact avec des corps très-avides d'oxigène, qui puissent désoxider en même temps l'acide sulfurique et le protoxide de fer, il se forme un proto-sulfure.

M. Fournet a trouvé des cristaux de ce sulfure sur un morceau de fer provenant de l'arbre tournant d'une roue hydraulique, où il servait à fixer le tourillon. On était dans l'usage d'enduire l'axe de matières grasses purifiées par l'acide sulfurique; ainsi la réaction de ces matières et de l'acide sulfurique sur le fer a déterminé la formation des pyrites : quelques années ont suffi pour cela.

Il faut donc que la matière organique ait désoxidé l'acide sulfurique, de manière à offrir le soufre au fer; mais comme la surface du métal était recouverte de petits cristaux de pyrites, les molécules de celles-ci ont dû se déposer à mesure qu'elles se formaient.

1145. Dans une ancienne galerie de mine de Pontgibaud, abandonnée depuis un temps immémorial, on a trouvé un ancien outil de mineur, qui était recouvert de cristaux microscopiques de proto-sulfure de fer, qui se sont décomposés peu à peu à l'air. On ignore entièrement la nature des substances qui, en réagissant sur le fer, ont pu leur donner naissance.

1146. Nous avons annoncé précédemment que les pyrites se formaient dans les eaux thermales; nous allons en citer quelques exemples : M. Longchamp a eu occasion d'examiner un dépôt recueilli dans le conduit de la principale source des eaux thermales de Chaudesaigues. Ce dépôt était mammelonné et crevassé, et sa surface était d'un rouge brun ayant l'aspect du peroxide de fer. En brisant le morceau on apercevait des plaques de fer sulfuré. Ce dépôt, comme on voit, était composé presque entièrement de pyrites. Nous ajouterons, pour l'intelligence de ce fait, que les sources sortent des roches à travers les fissures d'un filon de quartz, lesquelles sont tapissées de sulfure de fer. La température de la source est de 88 degrés centigrades.

Comment ces pyrites ont-elles été formées ? M. Longchamp s'est adressé à lui-même cette question. Il regarde comme probable que ce composé a pris naissance dans les eaux minérales ; mais on ne conçoit pas comment cela a pu avoir lieu, puisque l'analyse de ces eaux ne donne aucun des éléments de la pyrite.

1147. A Bex, en Suisse, dans une des galeries de communication de la saline, nous avons trouvé un magma très-humide rempli de petites pyrites et dont l'analyse a donné la composition suivante :

Sable	26
Carbonate de chaux	5
Sulfate de fer	42
Sulfate de chaux	21
	94

les 6 autres centièmes se composaient de quelques pyrites et de matière organique. Nous devons faire observer que la majeure partie des pyrites avaient été enlevées préalablement.

Nul doute que les pyrites n'aient été formées dans la réaction de la matière organique sur le sulfate de fer, réaction qui a enlevé à l'acide sulfurique et au protoxide de fer leur oxigène. Les cristaux de sulfate de soude, qui ont été recueillis dans les salines de Bex, renfermaient notablement du sulfate de chaux. Nous avons trouvé aussi, dans la même localité, des dépôts renfermant 11 $\frac{1}{2}$ pour cent de soufre, puis le reste presque entièrement formé de carbonate de chaux mêlé d'un peu de sulfate de même base et de carbonate de magnésie.

1148. Nous sommes parvenu à former des pyrites (persulfure de fer) ayant la forme de dodécaèdres à base pentagonale, en abandonnant aux actions spontanées un mélange de sulfate de fer, de sulfate de chaux et d'huile, dans des proportions que nous ne pouvons assigner, attendu que dans l'origine nous n'avions pas l'intention de produire cette substance.

L'opération a duré 4 ou 5 ans. Quelques cristaux ont 2 millimètres d'étendue. L'électro-chimie peut obtenir aussi du sulfure de fer cristallisé (848) en formant d'abord un double hypo-sulfite alcalin et de fer que l'on décompose en faisant fonctionner, pendant quelques mois, un courant électrique provenant d'un seul couple voltaïque, disposé convenablement.

On sait que l'on obtient le persulfure de fer en exposant l'hydrate de peroxide dans un courant de gaz hydrogène sulfuré à une température au-dessus de 100°. Si l'on substitue à l'hydrate des cristaux naturels de protocarbonate de fer, ces derniers se décomposent sans perdre leur forme : on obtient alors un sulfure de fer sous une forme qui n'est pas la sienne. Le cristal conserve toujours ses clivages. Nous faisons mention de cette épigénie, parce qu'elle se présente d'une manière inverse dans la nature. Il n'est pas rare de trouver du sulfure de fer

transformé en peroxide sans que la forme soit changée. Cette transformation s'effectue principalement dans les cristaux qui renferment de l'or; aussi est-on porté à croire que ce dernier métal exerce une influence sur cette espèce de métamorphose : mais comment se fait-il que le soufre soit enlevé entièrement par un effet de cémentation en même temps qu'il arrive de l'extérieur de l'oxigène pour remplacer ce corps? C'est ce qu'il nous est impossible d'expliquer.

1149. Pour compléter ce que nous avons à dire sur le sulfure de fer, nous ajouterons que le fer et le soufre commencent à réagir l'un sur l'autre à la température ordinaire, quand ils sont en même temps en contact avec l'eau et l'air : il en résulte ordinairement du sulfate. Si l'expérience a lieu en vaisseau clos, on a un mélange de sulfure de fer et de proto-sulfate du même métal. Cette action entre le soufre et le fer tient à deux choses, à l'affinité de ces deux corps pour le soufre et à celle de l'acide formé pour l'oxide.

1150. Puisque nous parlons de la réaction des végétaux et de diverses substances sur les matières animales, nous devons parler des observations curieuses que M. Pelouze a faites sur des ossements humains soumis à des réactions chimiques.

On a trouvé à Laon, dans un tombeau, le squelette d'un évêque posé sur des barreaux de fer; les os avaient éprouvé un genre de décomposition tel, que leur surface était recouverte de cristaux qui ont donné à l'analyse de M. Pelouze 25 pour cent d'une matière azotee, 75 centièmes de phosphate de chaux basique, présentant la même composition que celle des os. Ils ne renfermaient pas la plus petite quantité de carbonate de chaux. La plupart de ces cristaux étaient colorés en violet par suite de la présence du phosphate de manganèse. D'où vient le manganèse? Comment a agi le fer sur lequel était déposé le squelette pour déterminer la formation des cristaux de phosphate de chaux? C'est ce que nous n'entreprendrons pas d'expliquer, nous énonçons seulement le fait.

§ V. *Exemples remarquables de décompositions produites par cémentation.*

1151. Nous avons déjà fait connaître, d'après M. Haidinger, plusieurs faits qui prouvent que les substances cristallisées se forment quelquefois par un changement graduel de composition, sans que les formes extérieures de celles qui leur ont donné naissance éprouvent le moindre changement. Nous allons revenir sur ces pseudomorphoses, afin de montrer toute la fécondité du principe que nous avons exposé.

Commençons par la chaux sulfatée épigène; la chaux sulfatée anhydre prend à l'air une certaine quantité d'eau, sans pour cela changer de forme. Des sels deviennent déliquescents en absorbant de l'eau; d'autres efflorescents en perdant de cette eau de cristallisation. Des cristaux de proto-sulfate de fer, plongés dans l'alcool bouillant, sont décomposés, tout en conservant leur forme extérieure.

1152. On trouve à Chessy des cristaux de cuivre carbonaté bleu recouverts de cuivre carbonaté vert fibreux : on suit très-bien les passages successifs qui indiquent que les cristaux, dans l'origine, étaient privés d'eau. Dans cette transformation le cuivre carbonaté bleu perd une portion de son acide carbonique qui est remplacé par une quantité d'eau correspondante.

Les cristaux octaèdres de cuivre oxidulé présentent les mêmes effets; on trouve ordinairement au milieu des cristaux de protoxide de cuivre.

1153. Le cuivre sulfuré prismatique et les pyrites cuivreuses, tout en conservant leur forme, éprouvent des changements graduels.

1154. Le fer spathique se change peu à peu en hydrate de peroxide, et se présente sous la forme d'une masse terreuse brunâtre. Le persulfure de fer naturel se change en hydrate sans que la forme soit altérée. Le plomb participe à des changements analogues; le plomb sulfuré

héxaèdre, composé d'un atome de plomb et de deux atomes de soufre, est transformé en sulfate de plomb, dans lequel le plomb et le soufre sont dans les mêmes proportions.

1155. On a trouvé aussi des échantillons de sulfure de plomb qui ne présentaient plus qu'un mélange de carbonate et de sulfate du même métal.

On sait aussi que le plomb phosphaté se change en plomb sulfuré; le clivage est celui qui convient à la galène, il est cubique.

1156. Les oxides de manganèse participent également aux mêmes changements. Le double carbonate de chaux et de baryte, composé d'un atome de chacun de ces composés, passe quelquefois à l'état de sulfate de baryte. Le carbonate de baryte se décompose d'une manière analogue; l'antimoine natif, en absorbant l'oxigène de l'air, se recouvre d'une couche blanchâtre d'oxide d'antimoine plus ou moins profonde. De même, le sulfure d'antimoine qui appartient au système prismatique et qui est composé d'un atome de métal et de trois atomes de soufre, se décompose, se change peu à peu en oxisulfure hydraté; la forme reste toujours la même. Les cristaux de carbonate de chaux sont souvent enlevés des substances qui les recèlent par suite des influences atmosphériques; la place laissée vide par ces cristaux est remplie par d'autres cristaux.

1157. Dans le Sommerset-shire, on trouve la calamine sous la forme des cristaux métastatiques de chaux carbonatée. Cette substance paraît avoir remplacé peu à peu la chaux, et non s'être déposée dans un moule. On observe souvent que le quartz remplace les cristaux de chaux carbonatée, de chaux fluatée et de gypse. M. Haidinger, qui a beaucoup étudié ces sortes de produits secondaires, pense que la silice ne s'est pas déposée dans les cavités comme dans un moule, et que le remplacement a eu lieu par une décomposition successive. Le fait suivant est de nature à montrer que toutes ces décompositions s'opèrent souvent par des actions analogues à la

cémentation, à laquelle nous attribuons une origine électrique.

M. Darcet avait laissé, à la Monnaie de Paris, une lame d'acier pendant 8 ans, dans une armoire, en contact par un de ses bouts avec une solution de nitrate d'argent, qui arrivait très-lentement; elle sortait par une fissure d'un vase qui la contenait. Une moitié de cette lame s'est changée entièrement en argent très-pur, présentant une masse résistante, sans la moindre trace de fer. Le volume de cette lame d'argent était visiblement le même que celui de la lame d'acier. Cet effet singulier a dû se produire par des actions semblables à celles qui ont changé des monnaies de bronze antiques en protoxide de cuivre.

Nous citerons encore un exemple, auquel nous attachons une certaine importance, parce que les forces électro-chimiques y ont joué un rôle quelconque.

Nous avons dit (543) que pour obtenir le sulfure d'argent cristallisé en octaèdres, il fallait commencer par former le double hyposulfite de potasse et d'argent et le soumettre ensuite à une décomposition lente, en faisant arriver de l'oxigène dans la dissolution, avec une pile très-faible, qui réagît en même temps sur l'hyposulfite d'argent, pour lui enlever son oxigène; ces deux actions donnent naissance à un hyposulfate de potasse et à un sulfure d'argent qui cristallise en octaèdres dans l'espace d'un mois. Maintenant, si l'on ralentit encore l'action du courant, par un procédé que nous indiquerons, en exposant à des actions lentes les composés électro-chimiques que l'on peut obtenir avec l'argent et les autres corps, il se produit un autre effet. Le fil d'argent qui se trouve dans le tube positif, où se forme le double hyposulfite, se recouvre de cristaux qui paraissent être des prismes droits quadrangulaires, terminés de chaque côté par des sommets. Il arrive quelquefois que ces cristaux sont redissous à fur et mesure que le double hyposulfate se produit, et il se forme en même temps du sulfure d'argent; souvent aussi les cristaux ne changent pas de forme, quoique la substance dont ils sont formés se décompose insensible-

ment. Cet effet a lieu aussi quand on abandonne à des actions spontanées le double hyposulfite. Voici ce qui se passe dans ce cas : l'hyposulfite de potasse se change en hyposulfate, aux dépens de l'oxigène de l'hyposulfite d'argent et de celui qui lui est apporté par le courant; puis cet hyposulfate vient cristalliser sur la surface des cristaux, sans que ceux-ci aient changé de forme; de sorte que lorsque l'opération est terminée, ces derniers ne renferment plus que du sulfure d'argent, qui est sous une forme différente de celle qu'il affecte ordinairement. C'est donc une véritable pseudomorphose, analogue à celle que l'on trouve dans la nature. Ce fait montre encore que la cémentation peut avoir une origine électrique.

1158. M. Guyton Morveau (1), en soumettant à l'action d'une pile de 64 couples, cuivre et zinc, chargée avec une forte solution de chlorure de sodium, différents minéraux, a obtenu également des effets de pseudomorphoses.

Un fragment de sulfure d'antimoine ayant été placé dans un vase de verre rempli aux deux tiers d'eau distillée, et la communication établie avec la pile au moyen de deux lames de platine, aussitôt que l'action fut commencée, on sentit une légère odeur d'hydrogène sulfuré; deux heures après elle était très-marquée, et la liqueur avait pris une nuance jaune. La surface du fragment de sulfure d'antimoine paraissait avoir un aspect jaune plus foncé et comme irisé. On reconnut, à l'aide d'une solution d'acétate de plomb, qu'il s'était formé un sulfate, puisque l'on obtint un précipité blanc. La lame négative était noire, et l'autre était recouverte d'un léger encroûtement jaune. Le fragment de sulfure ayant été retiré après 8 heures d'expérience, on fit sécher la poussière dont il était recouvert : elle présenta la nuance jaune-rougeâtre de l'oxide de plomb natif. Le cristal avait à peu près perdu son éclat métallique.

Cette décomposition n'était que superficielle : il est

(1) Annales de Chimie, t. LXIII.

probable que si on eût agi pendant des mois entiers, des années, on aurait fini par décomposer entièrement tout le sulfure.

Le persulfure de fer a été soumis au même mode d'investigation, dans l'espoir d'obtenir des cristaux de peroxide de fer ayant la forme de persulfure. M. Guyton a cherché à produire cet effet, non-seulement sur la pyrite de fer, mais encore sur la mine d'argent gris appelée fahlerz.

L'expérience ayant été disposée comme précédemment, on a senti aussitôt l'odeur de l'hydrogène sulfuré, la liqueur s'est troublée, et les lames de platine se sont colorées comme précédemment. L'eau précipitait par l'acétate de plomb, les sulfures avaient perdu leur cohérence, et leur surface était recouverte de pellicules de couleur terne et sans éclat.

Guyton a observé un fait assez remarquable avec le sulfure de fer dont l'altération à la surface était très-marquée. Les conducteurs ayant été placés avant que l'eau fût mise dans le vase, le sulfure s'enflamma vivement par suite du grand état de division de ses parties superficielles.

On voit donc que le sulfure d'antimoine brillant cristallisé passe à l'état d'oxide jaune, sans perdre sensiblement sa forme extérieure.

Nous allons reprendre, dans le chapitre suivant, les phénomènes relatifs à l'action de l'électricité voltaïque sur les substances insolubles.

CHAPITRE VI.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ A FORTE ET A FAIBLE TENSION SUR LES SUBSTANCES INSOLUBLES.

§ Ier. *Effets produits par l'électricité à forte tension.*

1159. Nous avons montré jusqu'ici comment et dans quelles circonstances les courants électriques intervenaient pour opérer la séparation des éléments, des composés dissous dans un liquide. Nous allons maintenant montrer comment les mêmes courants, soit qu'ils proviennent d'un appareil voltaïque composé, ou d'un seul élément, peuvent retirer des substances insolubles plusieurs des éléments qui entrent dans leur composition.

Nous avons vu précédemment (1158) que Guyton-Morveau était parvenu à opérer les décompositions du sulfure d'antimoine, en le soumettant dans l'eau à l'action d'un courant voltaïque. Davy a repris ce mode de décomposition et a enrichi la science de faits nouveaux.

1160. Ayant soumis à l'action de la pile, au moyen de deux fils d'or, deux portions séparées d'eau distillée renfermées dans deux tubes de verre, communiquant ensemble au moyen d'une substance animale ou végétale humide, il obtint une dissolution d'or dans le tube positif et une dissolution de soude dans le tube opposé. Le chlore était fourni par le sel marin du verre ou par les substances organiques. Quant à l'alcali, il provenait

du verre, puisqu'il était corrodé au point de son contact avec le fil d'or.

1161. Si, au lieu de tube de verre, on employait des vases de cire, on obtenait du côté négatif un mélange de soude et de potasse, et du côté positif un mélange des acides sulfurique, hydrochlorique et nitrique. Avec de la résine, la matière alcaline a paru être composée principalement de potasse.

1162. Davy ayant mis de l'eau distillée dans une cavité pratiquée dans un morceau de marbre blanc et dans un creuset de platine, l'une et l'autre communiquant avec de l'asbeste, le creuset fut mis en rapport avec le pôle positif et la cavité avec le pôle négatif. L'eau de celle-ci acquit bientôt le pouvoir d'affecter la couleur de curcuma par suite de la présence de la soude et de la chaux; la soude ne parut plus après 11 opérations de 2 heures chacune. Davy en tira la conséquence que le marbre blanc avait été exposé à l'eau de mer.

Ayant soumis à l'action de la pile diverses substances minérales, il trouva toujours de la soude, de sorte qu'il paraît qu'il existe peu de pierres qui ne contiennent quelques portions de matières salines. On conçoit la possibilité de ce mélange, quand on considère que la plupart des roches portent des marques évidentes de leur ancien séjour au-dessous de la mer.

1163. Deux coupes de sulfate de chaux compacte remplies d'eau et en communication avec du sulfate de chaux humide furent mises en rapport avec une batterie voltaïque de 100 couples. Au bout d'une heure, la coupe négative renfermait une solution pure et saturée de chaux, et l'autre une solution assez forte d'acide sulfurique.

Avec le sulfate de strontiane les résultats furent les mêmes, quoique beaucoup plus longs à obtenir.

Le fluate de chaux, dans les mêmes circonstances, fut également décomposé.

Le sulfate de baryte éprouva beaucoup plus de difficulté dans sa décomposition que les deux substances précédentes. Il se forma, du côté négatif, du carbonate de baryte.

Un basalte dans lequel l'analyse avait donné sur 100 parties 3 $\frac{1}{2}$ de soude et $\frac{1}{2}$ partie d'acide hydro-chlorique avec 15 parties de chaux, ayant été soumis à l'expérience pendant dix heures, du côté négatif il s'est manifesté une forte odeur de chlore et de l'autre côté on a trouvé un mélange de chaux et de soude.

La lépidolithe a donné de la potasse.

Une lave vitreuse de l'Etna, un mélange de soude, de potasse et de chaux.

1164. Davy ayant pris un tube de verre qui pesait 84 grains $\frac{56}{128}$; le mit en communication au moyen d'asbeste avec une coupe d'agate, l'un et l'autre remplis d'eau distillée et soumit le tout à l'action d'une pile de 150 couples, le tube communiquant avec le pôle négatif. Au bout de quatre jours, l'eau devint très-alcaline et donna par l'évaporation de la soude mêlée avec une poudre blanche insoluble dans les acides. Le tout pesait $\frac{36}{128}$ grains, le tube ne pesait plus que 84 $\frac{37}{128}$. Davy reconnut que l'asbeste avait été aussi attaqué, ce qui explique la différence.

1165. M. Crosse, dans ces derniers temps, a employé les courants provenant de pile à grand nombre d'éléments et chargées avec de l'eau pure, pour décomposer des substances insolubles et former des composés analogues à ceux qu'on trouve dans la terre, question dont nous nous occupons depuis huit ou dix ans, en nous servant seulement d'électricité à faible tension. Les seuls renseignements circonstanciés qui soient parvenus à notre connaissance sur les travaux de ce physicien, sont dus à M. Richard Philips (1), qui a vu fonctionner les appareils. Voici la description qu'il fait de quelques-uns d'entre eux :

1. Une batterie de 100 paires, de 25 pouces carrés, chargée avec de l'eau, agissait sur des coupes contenant 1 once de carbonate de baryte et de sulfate d'alumine,

(1) Annals of Electricity, Magnetisme and Chemistry, janvier 1836.

dans le but d'obtenir du sulfate de baryte au pôle positif et des cristaux d'alumine au pôle négatif.

2. Une batterie de 11 paires cylindriques, de 12 pouces sur 4, agissant pendant six mois sur du fluo-silicate d'argent, a produit de grands cristaux hexaèdres d'argent au pôle négatif, des cristaux de silice et de la calcédoine au pôle positif.

3. Une batterie de 100 paires, de 5 pouces carrés, opérant sur du nitrate d'argent et de cuivre a produit de la malachite au pôle positif; au pôle négatif, des cristaux qui paraissaient avoir des angles et des faces appréciables: il est très-probable que l'on a pris du sous-nitrate de cuivre pour de la malachite.

4. La batterie regardée comme sa meilleure était composée de 813 paires, de 5 pouces, isolées sur des plateaux de verre reposant sur des barres de bois cimentées et si légèrement oxidées par l'eau qu'on n'avait besoin de la nettoyer qu'une ou deux fois par an. M. Philips, en essayant l'effet de 458 paires, placées sans ordre, n'a éprouvé que quelques commotions dans les doigts, mais son pouvoir a suffi pour produire des effets bien marqués sur les minéraux, dans le cours de quelques semaines.

5. Une batterie composée de plaques semi-circulaires, de 1 $\frac{1}{4}$ pouce de rayon, placées sur des plateaux de verre, et agissant pendant cinq mois à travers une brique poreuse sur une solution de silice dans la potasse, a donné naissance à de petits cristaux de quartz.

6. Une batterie de 30 paires, de même grandeur que les précédentes, agissant depuis le 27 juillet, sur un mélange de 205 grains de sulfate de plomb, d'oxide blanc, d'antimoine, de sulfate de cuivre, de proto-sulfate de fer et de trois fois la même quantité de verre commun, a donné sur le fil négatif du cuivre pur en deux jours, et des pyrites de fer cristallisé en quatre jours. On espérait obtenir des sulfures de plomb, de cuivre et d'antimoine, en enlevant l'oxigène aux sulfates.

M. Crosse évite d'employer des liquides acides ou salés pour faire fonctionner ces appareils; en les chargeant

avec de l'eau pure, ils peuvent conserver leur énergie sans altération sensible pendant une année.

Il a obtenu le double sulfure d'argent et d'antimoine, de l'arséniate de cuivre cristallisé.

Ayant remarqué que dans les montagnes de Quantock il existait du spath calcaire incrusté dans la pierre à bâtir et de l'arragonite dans du schiste argileux, il en a conclu que ces minéraux avaient été formés par l'eau qui filtrait dans ces roches; ayant recueilli de cette eau, il la soumit à l'action d'un de ses appareils pendant dix jours, et parvint, par ce moyen, à produire des substances semblables à celles que nous venons de citer. Il a cru reconnaître dans le cours de ses expériences que la lumière nuisait à la perfection des cristaux, attendu qu'il a obtenu dans une période plus courte et avec un pouvoir électrique plus faible les mêmes produits à l'ombre. En soumettant à l'expérience de l'acide fluorique-silicé, il a obtenu des cristaux de quartz. En suivant le développement de ces cristaux, il a commencé à apercevoir un hexagone, ensuite des lignes radiées partant de son centre, puis des faces se sont formées parallèlement aux côtés. Quelques mouvements survenus dans l'opération ont fait naître un second cristal, qui a formé hémitropie avec le premier.

§ II. *De l'action des courants produits par de l'électricité à faible tension sur les substances insolubles.*

1166. Jusqu'ici on a fait usage, pour décomposer les substances insolubles, de courants électriques produits par des appareils composés d'un nombre plus ou moins considérable d'éléments; mais on peut arriver au même but en employant simultanément les affinités et l'action des deux électricités dégagées dans la réaction lente de deux corps l'un sur l'autre. En effet, nous avons déjà dit (1)

(1) Tome III, page 380.

que si le pouvoir électrique, en vertu duquel les éléments d'un corps sont combinés, pouvait être changé en courant, ce courant aurait l'intensité nécessaire pour opérer la séparation de ces mêmes éléments. Or, lorsque deux corps se combinent ensemble, les électricités mises en liberté représentent exactement celles qui constituent le pouvoir électrique. Si donc on parvenait à les recueillir complétement, de manière à produire un courant, ce dernier opérerait la séparation d'un même nombre d'éléments. Nous ne pouvons malheureusement transformer en courants qu'une très-faible portion des deux électricités dégagées, attendu qu'il se produit dans le liquide une foule de recompositions qui diminuent d'autant l'intensité du courant principal. De plus, les obstacles qu'elles rencontrent diminuent aussi leur vitesse initiale. D'après cela, plus on affaiblit le nombre de ces recompositions, plus l'intensité du courant augmente, et plus alors elle tend à devenir égale à celle d'une pile composée d'un certain nombre d'éléments. On remplit cette condition en disposant les appareils pour que les électricités dégagées parcourent le plus petit espace possible dans le liquide. Pour donner une idée complète de la méthode générale que nous venons d'indiquer, nous allons citer une série d'expériences qui montreront le parti que l'on peut tirer de ce nouveau mode de décomposition et de recomposition.

Quand nous avons indiqué les procédés électro-chimiques à l'aide desquels on parvenait à se procurer des cristaux de carbonate de plomb, nous avons mis en pratique plusieurs procédés. Dans l'un d'eux, une lame de plomb, en relation avec le pôle positif d'un appareil voltaïque simple, a été placée dans de l'eau au fond de laquelle se trouvait du carbonate de chaux. Du côté négatif se trouvait un nitrate métallique. L'oxigène et l'acide nitrique étant transportés sur la lame de plomb, réagissaient sur le métal qui exerçait aussi une action décomposante sur le carbonate de chaux: ces effets divers ont produit du carbonate de plomb et du nitrate de chaux.

Ce premier exemple indique déjà la marche générale que l'on doit suivre pour faire agir l'électricité à faible tension sur les composés insolubles. En voici un autre que nous avons déjà rapporté, mais sous un autre point de vue (1021) :

1167. Dans un tube de 4 millimètres de diamètre, fermé par un bout, on a mis 1 $\frac{1}{2}$ gramme de sulfure noir de mercure, sur lequel on a versé une solution saturée de sel marin, puis on a plongé dedans une lame de cuivre, et l'on a fermé ensuite hermétiquement le tube. Bien que le sulfure de mercure ne soit pas soluble dans le sel marin et que celui-ci n'attaque pas sensiblement le cuivre hors du contact de l'air, cependant des diverses réactions chimiques faibles qui ont lieu au contact du cuivre, du sulfure de mercure, de l'eau et du chlorure de sodium, ont produit les effets suivants : décomposition du sulfure, cristallisation du mercure combiné avec du cuivre, sur la lame de cuivre et les parois du tube. Les cristaux sont des octaèdres réguliers et des segments octaédriques. L'opération continue sans interruption depuis huit ans, et tout porte à croire que tout le sulfure finira par être décomposé entièrement.

Si l'on opère avec de l'eau distillée au lieu d'eau salée, que l'on amalgame le bout de la lame de cuivre qui est en contact avec le sulfure de mercure et qu'on laisse le tube ouvert, les réactions électro-chimiques marchent rapidement, car on commence à apercevoir des cristaux de mercure et de cuivre huit jours après sur la partie supérieure de la lame. Il est probable qu'il se forme d'abord du sulfate de mercure, puis du sulfate de cuivre, dont la décomposition produit les effets décrits.

1168. On a mis dans un tube de verre du carbonate de cuivre, une solution saturée de sel marin, une lame de fer, et l'on a fermé hermétiquement le tube. Peu à peu le carbonate de bleu est devenu noir, la lame s'est recouverte de cuivre métallique et la décomposition a fini par être complète. Le tube renfermait un décigramme de carbonate hydraté de cuivre. Il est hors de doute, d'après

les effets produits, que dans les diverses réactions qui ont eu lieu au contact de l'eau, du sel marin, du carbonate de cuivre et du fer, le carbonate hydraté n'ait été d'abord décomposé sous l'influence voltaïque en eau et en carbonate anhydre, c'est-à-dire que l'eau n'ait été transportée sur le fer à la manière des acides. Quand l'expérience se fait au contact de l'air, il se précipite de l'oxide de fer.

En substituant au fer une lame de plomb, il y a également décomposition du carbonate de cuivre, sans qu'on observe bien sensiblement le passage du carbonate hydraté au carbonate anhydre, puis formation de double chlorure de plomb et de sodium qui cristallise en jolis rhomboèdres; de carbonate de plomb et probablement de chloro-carbonate en cristaux aciculaires. La liqueur devient légèrement alcaline par suite de la soude mise à nu. Les diverses substances qui résultent des réactions électro-chimiques sont tellement mêlées les unes avec les autres, qu'il est très-difficile de les séparer.

Prenons actuellement du carbonate d'argent, de l'eau distillée et une lame de plomb, le tout disposé comme dans les expériences précédentes; le carbonate ne tarde pas à être décomposé; la partie adhérente au verre forme en divers endroits une surface continue et brillante comme si le verre était étamé, preuve de l'influence des surfaces sur l'action électro-chimique. La lame de plomb se recouvre de carbonate hydraté de plomb en petites lamelles nacrées. Ce carbonate, comme celui de cuivre, ne peut être décomposé qu'en admettant que les effets électriques produits dans l'oxidation du métal, au contact de l'eau et de l'air, sont capables de séparer les éléments des sels métalliques insolubles soumis à leur action.

En substituant au plomb une lame de cuivre ou de fer, le carbonate d'argent est encore décomposé, mais plus rapidement encore qu'avec le plomb. Une partie du gaz acide carbonique se dégage; l'autre forme avec l'oxide de cuivre du carbonate vert, qui se change peu à peu en carbonate bleu, sous la forme de cristaux microscopiques.

L'argent métallique résultant de la décomposition du carbonate est mêlé de très-petits cristaux de protoxide de cuivre, provenant probablement de la décomposition du carbonate de cuivre nouvellement formé et de celui qui se trouvait dans le carbonate d'argent.

1169. Les silicates des métaux dont les oxides sont facilement réductibles, sont également décomposés dans leur contact avec l'eau et des lames de métal oxidable. Nous citerons particulièrement les silicates de cuivre, d'argent et de plomb, mis en contact avec des lames de plomb, de fer, de zinc ou de cuivre.

Le silicate de cuivre est décomposé par les lames de fer et de plomb : l'oxide métallique est réduit et la silice se dépose sous forme gélatineuse. Il est probable qu'en disposant les appareils de manière à ce qu'ils fonctionnent très-lentement, on obtiendrait de petits cristaux de quartz.

Si l'on opère avec une lame de zinc recouverte ou non de cuivre dans la partie en contact avec le silicate, il se produit des effets qui ne pouvaient être prévus *à priori*, attendu qu'ils ne ressemblent en rien à ceux que l'on obtient avec les autres métaux. La lame ne tarde pas à prendre une couleur bleue très-intense, tirant sur le noir, tant qu'elle se trouve dans l'eau, mais si on l'en retire et qu'on la fasse sécher, la couleur bleue est bien manifeste. La surface du zinc se recouvre de petits tubercules bleus qui font effervescence avec tous les acides et donnent des sels de cuivre. Traités par l'ammoniaque, ils s'y dissolvent en partie et laissent du cuivre métallique dans un grand état de division. Dès lors, dans la réaction très-lente du zinc sur le silicate de cuivre par l'intermédiare de l'eau distillée, il se dépose du cuivre métallique, du deutoxide anhydre de cuivre, dont une partie se combine avec l'acide carbonique transmis à l'eau par l'air. Or, comme la réaction s'opère dans toute l'étendue de la lame, bien qu'elle ne soit en contact que dans une petite partie avec le silicate de cuivre, il faut donc admettre que ce dernier est fai-

blement soluble dans l'eau, à l'aide de l'acide carbonique de l'air.

Pendant tout le temps que s'effectuent les diverses réactions dont nous venons de parler, il se dégage une quantité assez notable de gaz hydrogène, provenant de la décomposition de l'eau. Il faut donc que dans cette circonstance la silice détermine la décomposition de l'eau. Nous devons ajouter que, dans ces diverses réactions, il se forme des grains cristallins de carbonate de zinc, dans lesquels on reconnaît la forme rhomboïdale. Nous répétons encore que les divers produits qu'on obtient dans la réaction du zinc sur le silicate de cuivre par l'intermédiaire de l'eau ne pouvaient être prévus, puisqu'ils dépendent du rapport entre les effets électriques produits dans l'oxidation du zinc et les affinités des divers éléments qui se combinent.

En opérant avec de l'oxide de cuivre hydraté, ou du carbonate vert de cuivre, au lieu de silicate, l'oxide est réduit sans qu'il y ait formation de carbonate bleu, et il se dépose sur la lame de zinc des grains cristallins de carbonate de zinc. L'eau est également décomposée, mais moins abondamment.

1170. Les arséniates et les phosphates des métaux oxidables ont été soumis également avec succès au même mode d'expérimentation, particulièrement les sous-arséniate et sous-phosphate d'argent. Leur décomposition s'est effectuée assez rapidement; l'oxide d'argent a été réduit, l'acide devenu libre s'est combiné avec l'oxide nouvellement formé. En employant une solution de chlorure de sodium au lieu d'eau distillée, on obtient des doubles combinaisons.

Avec l'arséniate d'argent, l'eau distillée et le plomb, il s'est déposé sur celui-ci des lamelles cristallines d'un blanc nacré d'arséniate de plomb, l'eau est devenue assez fortement acide par la présence de l'acide arsénique. Or, comme un atome d'arséniate d'argent, quand il est décomposé par le plomb, doit donner naissance à un atome d'arséniate de plomb, il faut donc que l'arséniate

formé ne soit qu'un sous-sel ; la quantité que l'on en a obtenue est encore trop faible pour qu'on en puisse faire l'analyse.

En opérant avec l'arséniate d'argent, l'eau distillée et une lame de cuivre, le sel métallique est également décomposé, l'oxide d'argent est réduit, et il se forme des cristaux aciculaires d'arséniate de cuivre d'un vert tendre.

Nous avons soumis aussi à l'expérience le chromate d'argent, avec l'eau distillée et une lame de plomb, dans l'espoir de former le chromate de plomb semblable à celui de Berezoff, et que nous avions déjà obtenu par d'autres procédés. Le chromate n'a pas tardé à être décomposé : il s'est déposé sur la paroi inférieure du verre des lamelles cristallines d'argent ; l'acide chromique, devenu libre, s'est combiné avec l'oxide de plomb formé aux dépens de l'oxigène de l'oxide d'argent. Il en est résulté un chromate de plomb jaune, qui s'est changé peu à peu en chromate d'un rouge orangé, en cristaux aciculaires.

1171. Ces expériences étant variées de mille manières, peuvent donner naissance à des produits électro-chimiques qui ne peuvent manquer d'intéresser la chimie et la géologie.

1172. On peut opérer également sur des composés insolubles qui ne renferment pas d'oxide métallique. Nous prendrons pour exemple l'iodure de soufre qui laisse dégager facilement de l'iode. Si après l'avoir broyé en parties très-ténues, on le met dans un tube de verre avec de l'eau et une lame de plomb, l'eau se charge peu à peu d'iode, il se forme promptement des cristaux d'iodure de plomb de plusieurs millimètres d'étendue ; des cristaux d'iode très-nets se déposent sur le plomb et sur la paroi du tube, et le soufre est insensiblement mis à nu.

Si l'on substitue au plomb une lame d'étain, la décomposition de l'iodure de soufre dans un tube à petit diamètre paraît marcher plus rapidement. Dans l'espace de 24 heures, il se dépose sur la lame des aiguilles d'un per-

iodure d'étain de couleur orangée, qui deviennent jaunes claires, quand on les traite par l'eau bouillante.

Avec le cuivre on obtient des effets analogues.

Il est probable qu'en faisant réagir des substances organiques avides d'oxigène sur des sels métalliques insolubles, par l'intermédiaire de l'eau, on parviendra également à opérer leur décomposition.

Les faits que nous venons de rapporter suffisent pour montrer le parti que l'on peut tirer d'effets électriques simples pour réagir sur des composés insolubles.

CHAPITRE VII.

DES CARBONATES DE CHAUX.

§ Ier. *Procédé pour reconnaître si un calcaire a une texture rhomboïdale ou prismatique.*

1173. Lorsque le carbonate de chaux est cristallisé; rien n'est plus simple que de reconnaître s'il appartient au système rhomboïdal ou au système prismatique : il suffit pour cela du clivage, de la mesure des angles et de la dureté. Mais si cette substance a une texture seulement cristalline et à grains plus ou moins fins, il devient impossible alors de détacher les lames pour mesurer les angles. Il ne reste plus alors que la dureté pour caractère distinctif, qui est souvent insuffisant, puisqu'il change d'une variété à l'autre. Voici le moyen que nous avons employé pour distinguer les deux espèces de carbonate de chaux :

Prenons d'abord une lame de spath calcaire et réduisons-la en poussière dans un mortier d'agate. Si l'on examine cette poussière au microscope, sur une lame de verre, on n'aperçoit que des petites masses demi-opaques, dont il est difficile de déterminer les formes; mais en y ajoutant quelques gouttes d'eau pour diminuer la réflexion de la lumière et produire le même effet que dans l'hydrophane, on distingue alors sur plusieurs lamelles la forme rhomboïdale. Soumettons à la même

épreuve un cristal d'arragonite qui n'a que deux sens possibles de clivage; on n'aperçoit plus alors de rhomboïdes, mais bien une foule de petites lames cristallisées, terminées par des lignes parallèles dans deux sens et ne présentant dans les deux autres qu'une cassure vitreuse. Voilà un moyen très-simple de distinguer le spath rhomboïdal de l'arragonite.

On trouve le clivage du rhomboèdre dans le flos-ferri, les dragées de Tivoli, le marbre blanc lamellaire, le marbre blanc saccharoïde, et le clivage de l'arragonite dans l'arragonite fibreuse de Vertaison, dans quelques stalactites fistulaires, l'albâtre de Montmartre et divers autres calcaires. On avait déjà reconnu que le flos-ferri devait être rangé dans la chaux carbonatée ordinaire, et l'on soupçonnait que l'albâtre de Montmartre appartenait à l'arragonite, mais on n'avait pas encore obtenu de preuves aussi directes pour opérer ce rapprochement que celles que nous venons de donner.

§ II. *Formation électro-chimique de l'arragonite.*

1174. Pour former l'arragonite, on emploie l'appareil, figure 5, composé de trois bocaux tubulés A, A', A''; le premier est destiné à dégager de l'acide carbonique par les procédés ordinaires de la chimie et communique avec A' au moyen d'un tube recourbé *a b c*, dans lequel passe le gaz. La communication de A' avec A'' est établie avec un autre tube recourbé *a' b' c'*, rempli d'argile humide et dont les deux bouts sont coiffés avec du linge pour empêcher la sortie de l'argile. A' est rempli d'eau pure, ou mieux encore d'une solution saturée de carbonate de chaux dans l'acide carbonique. Dans cette dissolution plonge une lame de platine, qui communique avec le pôle négatif d'une pile de 30 éléments, chargée avec de l'eau pure ou de l'eau renfermant une petite quantité de sel marin. Le troisième bocal contient une solution de chlorure de calcium, dans laquelle se trouve une lame de

platine en communication avec le pôle positif de la même pile. Des tubes de sûreté *t t* sont placés dans les bocaux A, A′ : la première tubulure de A, qui est fermée avec un bouchon, est destinée à introduire le carbonate de chaux nécessaire pour effectuer le dégagement du gaz acide carbonique; dans l'ouverture O passe, outre le tube de sûreté, un autre petit tube que l'on ouvre de temps à autre pour laisser sortir l'hydrogène. Quand l'appareil est bien luté, on procède au dégagement du gaz acide carbonique, en même temps que l'on fait fonctionner la pile.

Voici ce qui se passe : le chlorure de calcium est décomposé, la chaux est transportée dans A′, où elle trouve de l'acide carbonique avec lequel elle se combine; mais au lieu de cristalliser immédiatement sur la lame de platine, elle se dissout dans l'excès d'acide. Cet effet continue jusqu'à ce que l'eau acidule soit saturée de chaux. La cristallisation commence alors sur la lame même du platine. L'action décomposante de la pile s'exerce également, quoique faiblement, sur le bicarbonate de chaux; on a, d'une part, de l'acide carbonique et du carbonate de chaux, et de l'autre de l'acide carbonique et de la chaux. Mais cette dernière décomposition doit être excessivement faible, attendu qu'elle se produit au milieu d'un liquide chargé d'acide carbonique. La chaux n'est pas le seul corps qui soit transporté dans le bocal A′; l'hydrogène, qui provient de la décomposition de l'eau, s'y rend également. Ce gaz, en se dégageant autour de la lame de platine, agite le liquide et nuit à la cristallisation. Pour obvier à cet inconvénient on place au fond du vase de l'hydrate de cuivre, lequel se combine peu à peu avec l'acide carbonique. Ce nouveau carbonate est dissous, puis décomposé par le courant; l'hydrogène aide à la réduction du deutoxide de cuivre et ne trouble plus la cristallisation du carbonate de chaux; mais alors la lame de platine se recouvre de cuivre métallique ou de protoxide, suivant la force de la pile, et quelquefois même de carbonate bleu et vert de cuivre en petits tu-

bercules, quand son action est excessivement faible, et très-probablement aussi de double carbonate de chaux et de cuivre.

Les cristaux de carbonate de chaux, déposés sur la lame, sont des prismes quadrangulaires terminés par des sommets dièdres, forme incompatible avec le rhomboèdre primitif de la chaux carbonatée, mais qui appartient au système de l'arragonite. Quelques-uns des cristaux, après 20 jours d'expérience, avaient un millimètre de long. Examinés au microscope, suivant la méthode décrite auparavant, on a reconnu le clivage de l'arragonite. L'analyse qualificative n'a donné que de la chaux et de l'acide carbonique sans eau de cristallisation.

La matière chauffée à 150°, dans un tube de verre, n'a rien perdu de son poids. Un peu avant le rouge obscur, elle a pris une teinte grise et a répandu une légère odeur, puis elle est redevenue très-blanche : le résidu s'est dissous entièrement dans l'acide acétique faible. Chauffée au chalumeau avec du borax, elle a fondu en un vert presque incolore; 0gr 115 ont été décomposés par l'acide sulfurique et chauffés au rouge obscur et ont donné 0,154 de sulfate de chaux, dans lequel on a constaté l'absence du fer, du manganèse, de la strontiane et de la silice. Cette analyse montre que la composition de cette chaux carbonatée est précisément la même que celle du calcaire ordinaire et de l'arragonite.

Lorsqu'on cherche à former l'arragonite, sans employer l'oxide de cuivre, le dépôt cristallise difficilement, comme nous l'avons déjà fait observer, parce que l'hydrogène cause de l'agitation dans le liquide. On ne peut donc décider ici si la présence d'un métal est ou non une des causes influentes de la cristallisation de la chaux carbonatée dans le système prismatique.

§ III. *Des cristaux de chaux carbonatée spathique et d'arragonite de formation moderne.*

1175. A Carlsbad, en Bohême, il se dépose journel-

lement des concrétions calcaires que l'on a rapportées à l'arragonite. A Saint-Nectaire, dans le département du Puy-de-Dôme, on trouve de semblables dépôts dans des tufs modernes. Ces dépôts ne présentent, en général, qu'une cristallisation confuse de cristaux groupés irrégulièrement les uns à côté des autres, et partant d'un centre commun.

Ce groupement, qui est le même que celui des cristaux de Vertaison et de diverses localités, a paru suffisant pour faire regarder comme identiques ces deux espèces de cristaux. Pour nous assurer si ce rapprochement était bien fondé, nous avons fait les observations suivantes :

1176. A Clermont, en Auvergne, il existe des fontaines incrustantes qui déposent sur les corps une croûte de chaux carbonatée, n'ayant aucune apparence de cristallisation. A Saint-Nectaire il existe également des eaux incrustantes, mais le dépôt qui se forme sur les corps n'est plus terreux ; il est formé de petits cristaux dont on a cherché le système cristallin par la méthode précédemment indiquée ; leur clivage est le même que celui de l'arragonite : ce qui vient encore à l'appui de cette assertion, c'est que l'arragonite se forme depuis un temps immémorial dans cette localité. Les fissures des roches granitiques, par lesquelles les eaux sortaient jadis, en sont tapissées. La cause qui détermine la cristallisation de la chaux carbonatée, dans le système prismatique, existe donc là depuis la plus haute antiquité. Quelle est cette cause? nous l'ignorons. Ce que nous pouvons dire, c'est que la modification que le courant électrique imprime à la chaux, quand elle est transportée par lui au milieu d'une eau chargée d'acide carbonique en présence de l'oxide de cuivre, suffit pour déterminer la formation de l'arragonite : aller au delà ce serait devancer l'expérience. Nous ferons remarquer seulement qu'à Saint-Nectaire la composition des eaux minérales indique également un grand excès d'acide carbonique, comme le prouve l'analyse de M. Berthier.

	Sels sans eau.
Acide carbonique libre.....	0,000736
Carbonate de soude neutre....	0,002833
Muriate de soude.....	0,000156
Carbonate de chaux.....	0,000440
Carbonate de magnésie.....	0,000240
Silico.....	0,000100
Oxide de fer.....	0,000014
	0,006203

1177. M. Berthier, qui a fait une étude approfondie des eaux minérales, et en particulier des eaux thermales de Saint-Nectaire, nous a donné des renseignements précis sur les changements qui s'y produisent quand elles sont au contact de l'air. Ces eaux suintent en bouillonnant à travers les fissures d'un gneiss jaunâtre en décomposition. Près de leur source elles sont très-limpides, mais elles ne tardent pas à louchir et déposent sur le sol des incrustations calcaires qui s'accumulent avec le temps et finissent par former des rochers d'une grande étendue. Dans les journées chaudes, elles déposent sur les herbes des efflorescences blanches alcalines. Ces dépôts varient de couleur : ils sont d'une couleur ocracée due à l'oxide de fer qui se dépose dès que l'eau a le contact de l'air. Les autres sont grisâtres ou blanchâtres et sont composés de couches concentriques; la cassure en est presque toujours cristalline et striée. Voici l'analyse qu'il a donnée de toutes ces concrétions :

	Dans les concrétions ocracées.	Dans les concrétions blanches.
Sable mêlé de silice gélatineuse.	0,14....	0,18
Carbonate de chaux.....	0,78....	0,78
Carbonate de magnésie.....	0,04....	0,04
Oxide de fer.....	0,04....	trace.

Les efflorescences alcalines sont pulvérulentes et d'un

blanc de neige; leur saveur est fortement alcaline: elles sont composées de

Sous-carbonate de soude.....	0,657
Muriate de soude.....	0,080
Eau de cristallisation.....	0,263
	1,000

L'explication que donne M. Berthier de la décomposition des eaux minérales est tellement rationnelle que nous la rapportons ici textuellement :

« Aussitôt qu'elles ont le contact de l'air, elles lais-« sent dégager de l'acide carbonique : le fer, qui paraît « être, dans l'eau, à l'état de carbonate de protoxide, « absorbe de l'oxigène et se dépose presque immédiate-« ment à l'état d'hydrate de peroxide. La silice se dépose « un peu plus tard. Vient ensuite le carbonate de chaux, « puis après le carbonate de magnésie..... Le dégage-« ment d'acide carbonique continuant toujours, le car-« bonate neutre de soude devient de plus en plus alcalin, « et enfin il se transforme entièrement en sous-carbo-« nate. Après cela, l'eau minérale n'éprouve plus aucune « altération. »

1178. A Vienne en Dauphiné, dans une galerie d'écoulement qui a été ouverte il y a environ un siècle dans une diabase, nous avons trouvé des incrustations cristallisées de carbonate et de sulfate de chaux. Les cristaux de carbonate, dont quelques-uns ont de 2 à 3 millimètres de côté, appartiennent à la variété inverse; une partie en est limpide, l'autre d'un blanc mat; ils se dissolvent sans résidu dans l'acide acétique étendu d'eau. Le gisement des cristaux ne laisse aucun doute sur leur formation, par suite de l'infiltration des eaux depuis l'ouverture de la galerie.

1179. A Aix en Savoie, dans une piscine romaine, découverte en 1830, nous avons trouvé trois variétés bien distinctes de concrétions calcaires qui sont assez re-

marquables; la première, qui est la plus ancienne, repose sur le marbre blanc du fond de la piscine. Elle est stratiforme et composée de lames cristallines de spath calcaire. La seconde, qui est au-dessus, est formée de lamelles cristallines plus serrées. La texture commence à être compacte; enfin dans la troisième concrétion, qui est la plus récente, elle est tout à fait compacte et ne diffère en rien, sous le rapport de la texture, de la chaux carbonatée compacte : la ressemblance est tellement parfaite que l'œil le plus exercé ne saurait trouver de différence entre l'une et l'autre. L'analogie qui existe entre l'ordre de formation de ces dépôts demi-cristallins, demi-compactes et compactes, et la distribution des formations calcaires dans la terre, ancien, intermédiaire et secondaire, où ils sont successivement cristallins, moins cristallins et compactes, pourra servir à éclairer plusieurs points de géologie.

1180. Nous terminerons ce que nous avons à dire sur la formation spontanée du carbonate de chaux, par l'observation suivante, qui est due à M. Dumas. A la manufacture de Sèvres, dans un réservoir de plomb, où coule de l'eau chargée de carbonate de chaux, tenu en dissolution par un excès d'acide carbonique, la surface intérieure offre des traces à peine sensibles de carbonate de chaux, tandis que sur les soudures on observe des incrustations de plusieurs lignes d'épaisseur, irrégulières à la surface, mais cristallisées à l'intérieur. Nul doute qu'il n'y ait eu ici une action électrique très-faible, qui a décomposé le bicarbonate en carbonate et en acide carbonique. Cette action électrique provient de la différence d'action de l'eau chargée d'acide carbonique sur le plomb et la soudure, laquelle rend le plomb positif par rapport à la soudure. Des métaux ne sont pas toujours nécessaires pour obtenir de semblables effets, il suffit d'actions chimiques quelconques, formant des courants électriques continus à l'aide d'un corps conducteur inerte, tel que le charbon ou autre.

§ IV. *De la formation de cristaux de carbonate de chaux dans la nature organique.*

1181. M. Turpin a observé une multitude de cristaux rhomboédriques de chaux carbonatée sur la paroi intérieure de l'enveloppe extérieure des œufs du limaçon des jardins.

Ces œufs sont de la grosseur du plomb de chasse ordinaire, d'un blanc laiteux. Ils sont composés de quatre parties : de deux enveloppes membraneuses très-minces organisées, d'une cicatricule et d'une liqueur albumineuse organisable.

Les deux enveloppes, dans l'origine, sont semblables; ce n'est qu'ensuite que l'enveloppe extérieure devient plus épaisse, plus consistante, plus opaque et assez calcaire. Ce changement paraît s'opérer au moyen d'une grande quantité de molécules de carbonate de chaux, qui se déposent successivement en cristallisant. Pour les observer, on opère de la manière suivante : on place sur une lame de verre, dans une goutte d'eau, une coque ou enveloppe extérieure, que l'on détruit; il se dégage alors un grand nombre de très-beaux cristaux rhomboédriques de carbonate de chaux, dont les plus gros ont $\frac{1}{100}$ de millimètre et qui font une vive effervescence avec l'acide nitrique.

M. Turpin a observé que l'œuf, à l'instant même où l'animal le pond, contient déjà tous les cristaux, ce qui prouve que leur formation a lieu dans l'intérieur même de l'ovaire. Il en est de même dans les œufs des oiseaux; la différence consiste uniquement dans ce que, à la paroi interne de ceux-ci, les molécules de carbonate de chaux se déposent confusément, comme dans l'ossification des animaux vertébrés, tandis que dans la première la même matière prend un groupement régulier.

1182. Swammerdam et Spallanzani avaient déjà remarqué que dans les hélices vivipares il se forme une immense quantité de globules cristallisés, entassés pêle-

mêle dans les fibres musculaires, principalement dans les cornes de l'animal, qui en renferment environ les $\frac{5}{6}$ de sa masse. Ces globules, qui ressemblent à des petites perles, ont environ $\frac{1}{200}$ de millimètre de diamètre. Leur transparence parfaite les ferait prendre au premier abord pour des bulles d'air. En les regardant attentivement au microscope, on reconnaît que ces globules ne sont que des rhomboèdres encore ébauchés. Autant qu'on peut en juger, leur formation a lieu par des dépôts successifs de molécules de carbonate de chaux. M. Turpin a observé que ces globules commencent à se former dès l'instant que le fœtus prend naissance.

1183. L'intérieur des tissus des végétaux et des animaux reçoit constamment par les racines, de la matière inorganique qui n'affecte que rarement des formes cristallines, parce qu'elle est soumise à l'empire des forces vitales; le carbonate de chaux se dépose en masses confuses dans l'ossification des os des animaux vertébrés, dans les coquilles d'un grand nombre de mollusques, etc., ou bien à l'état diffus comme le fer, le cuivre, la silice, etc.

Il paraît que la cristallisation de la matière inorganique, dans l'intérieur des tissus vivants, paraît dépendre uniquement d'une cause constante qui fait partie de l'organisme de certaines espèces; par exemple, dans le genre opuntia, de la famille des cactées, plusieurs espèces manquent entièrement de ces agglomérats de cristaux tétraèdres que l'on trouve abondamment dans toutes les autres.

Nous pourrions citer d'autres exemples semblables. En général, il existe un grand nombre de végétaux dans le tissu cellulaire desquels on a observé de nombreux cristaux.

Double carbonate de chaux ou dolomie.

1184. Cette substance est formée d'un atome de carbonate de chaux et d'un atome de carbonate de magnésie. On la trouve dans la nature, dans les terrains

anciens associés à un grand nombre de substances; dans les terrains secondaires, elle forme souvent des masses assez considérables, composées de cristaux brillants nacrés. Nous l'avons formée avec le même appareil qui nous a servi à obtenir le carbonate de chaux. On a mis, à cet effet, dans le bocal A″ une dissolution de chlorure de calcium et de chlorure de magnésium, dans des proportions telles qu'il y avait un atome de l'un pour un atome de l'autre. On a agi ainsi pour que la même quantité de chacune des deux bases fût transportée simultanément dans le second bocal et fût soumise en même temps à l'action de l'acide carbonique. On a commencé à apercevoir, au bout de deux jours, sur la lame de platine qui se trouve dans le second bocal, des petits tubercules très-blancs qui se sont couverts peu à peu d'une substance noirâtre à la surface et de cuivre métallique.

Les tubercules, examinés au microscope, ont indiqué la présence de rhomboïdes complets et d'autres dont les arêtes autour de l'axe étaient émarginées : cette variété a été appelée unitaire par M. Haüy.

§ V. *De la réaction du bicarbonate de chaux sur le gypse.*

1185. Lorsque l'on plonge un morceau de sulfate de chaux cristallisé dans une solution saturée ou étendue de bicarbonate alcalin, il y a dégagement de gaz acide carbonique; la sélénite blanchit peu à peu, se recouvre de petits cristaux de carbonate de chaux; il se dépose aussi des cristaux de sulfate de chaux sur les parois du vase, et la solution renferme du sulfate alcalin. Rien n'est plus simple que d'expliquer ces phénomènes : le sulfate de chaux étant faiblement soluble à mesure qu'il se dissout, est décomposé par le bicarbonate. Mais, comme le sulfate de chaux est composé d'un atome de base et de deux atomes d'acide sulfurique, ainsi que le sulfate de potasse, et que le bicarbonate de potasse renferme un atome de potasse et quatre atomes d'acide carbonique, le

carbonate de chaux un atome de chaux et deux d'acide, il faut nécessairement que les deux atomes de gaz deviennent libres, et se dégagent comme l'expérience l'indique.

Quand on fait réagir le sous-carbonate, les mêmes produits se forment; mais alors il ne se dégage plus de gaz acide carbonique, puisque la quantité qui possède un atome d'alcali est saturée complétement par la chaux que l'acide sulfurique abandonne.

Il résulte des observations précédentes que lorsqu'une eau minérale alcaline traverse des terrains gypseux, ceux-ci doivent être peu à peu décomposés, et changés en carbonate de chaux plus ou moins cristallin, suivant l'énergie de la réaction.

CHAPITRE VIII.

ACTIONS CHIMIQUES DIVERSES QUI DOIVENT ÊTRE PRISES EN CONSIDÉRATION DANS LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

§ Ier. *De l'action simultanée des matières sucrées et mucilagineuses sur les oxides métalliques par l'intermédiaire des alcalis et des terres.*

1186. Nous sommes naturellement conduit, puisque nous traitons des actions lentes, à examiner l'action simultanée des matières sucrées et mucilagineuses sur les oxides métalliques, ainsi que les sels qu'ils forment avec différents acides, puisque les eaux minérales renferment fréquemment des matières organiques qui peuvent réagir sur les composés métalliques des roches qu'elles traversent.

Voguel (1) a fait voir que beaucoup de sels métalliques peuvent être décomposés par un grand nombre de substances du règne organique. Suivant ce chimiste, le principe sucré se trouve au premier rang. Ayant traité plusieurs de ces sels à la température de l'eau bouillante, il a obtenu les résultats suivants : La dissolution de l'acétate de cuivre est décomposée par le sucre; l'acide acétique se dégage, il se précipite du protoxide de cuivre, et la liqueur surnageante est un proto-acétate de cuivre. Les autres espèces de sucres partagent jusqu'à

(1) Journal de Pharmacie, t. 1, p. 241.

La gomme est loin de produire un effet semblable, comme nous allons le voir. Les alcalis et les terres ne précipitent pas la dissolution de gomme dans l'eau, mais si l'on ajoute du deutoxide de cuivre à l'état d'hydrate, il se forme aussitôt un précipité floconneux blanc de gomme et d'oxide de cuivre. Si l'on ajoute suffisamment d'oxide, on peut précipiter par ce moyen toute la gomme : c'est sous l'influence de la potasse que cet effet se produit. Quand la dissolution renferme en outre une petite quantité de matière sucrée, celle-ci réagit aussitôt sur l'excès d'oxide de cuivre, le dissout et colore en bleu la dissolution. Cette propriété de la gomme, qui diffère essentiellement de celle du sucre, dans les mêmes circonstances, nous fournit un moyen très-simple de reconnaître la présence de l'une et de l'autre dans une dissolution composée de produits organiques. On commence par dissoudre dans le liquide un excès de potasse, puis on ajoute du deutoxide de cuivre également en excès, qui précipite toute la gomme : dans le cas où il y a une matière sucrée, la dissolution se colore aussitôt en bleu ; par exemple, le mucilage que l'on obtient par une décoction de farine de graine de lin, donne, par la potasse et l'hydrate de cuivre, un précipité analogue à celui de la gomme et de l'hydrate de cuivre, et la dissolution se colore légèrement en bleu, comme si elle renfermait un peu de matière sucrée. Cette dernière réaction est-elle due au mucilage que renferme la graine de lin? nous ne le pensons pas; car ce mucilage, quand il est isolé des autres substances contenues dans la graine, ne jouit pas de la propriété de dissoudre l'oxide de cuivre par l'intermédiaire de la potasse. Il paraîtrait d'après cela que la décoction de graine de lin renferme une petite quantité de matière sucrée. M. Vauquelin, dans l'analyse qu'il a faite de la graine de lin, n'a pas fait mention de matière sucrée; mais cette substance s'y trouve peut-être en quantité si minime qu'il fallait une réaction très-sensible pour en constater la présence. Le procédé que nous venons d'indiquer, en raison de sa sensibilité

et de la facilité avec laquelle on le met en pratique, pourra être de quelque utilité aux botanistes et aux chimistes. Les résultats que nous venons d'exposer s'obtiennent à la température ordinaire; mais si l'on soumet les dissolutions à l'action de la chaleur, les effets changent.

Prenons une dissolution de sucre de canne, de potasse et de deutoxide dans l'eau, dans des proportions telles que le sucre et la potasse soient quatre ou cinq fois plus considérables en poids que le deutoxide: la couleur bleue change aussitôt que l'ébullition commence; elle devient verte, vert-jaune, jaune-rouge, puis rouge; tout le deutoxide est alors changé en protoxide qui n'éprouve plus ensuite aucun changement, quelle que soit la durée de l'ébullition. Si l'on ajoute successivement de l'oxide de cuivre jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de protoxide, on parvient à décomposer entièrement tout le sucre, et il ne reste plus dans la dissolution que du carbonate de potasse et une petite quantité d'acétate de la même base, comme on pouvait le prévoir en raison des observations électro-chimiques exposées précédemment. On reconnaît la présence de l'acide acétique en versant de l'acide sulfurique sur le résidu de la dissolution évaporée à siccité. Le sucre de lait se comporte à froid comme le sucre ordinaire à l'égard du cuivre et de la potasse; mais si l'on traite la dissolution par la chaleur, l'oxide de cuivre passe à l'état de protoxide, puis est réduit à l'état métallique; effet que l'on n'obtient jamais avec le sucre de canne : outre les différences entre les propriétés chimiques qui existent entre les deux substances, celle que nous venons d'indiquer peut servir à les distinguer l'une de l'autre.

Les oxides d'or, d'argent et de platine, soumis aux mêmes expériences que l'oxide de cuivre, sont réduits à l'état métallique, comme par le procédé de Vogueł. Les oxides de fer, de zinc, de cobalt, de nickel, n'éprouvent aucun changement, quand on les traite par la potasse et le sucre de lait. Si l'on traite par la chaleur

3 grammes de deutoxide de mercure, avec 7 grammes de sucre de lait, 9 de potasse et 10 d'eau, le mercure est réduit à l'état métallique, sous forme de pâte : le métal se trouve alors dans un grand état de division, en raison de l'eau interposée entre ses parties. On peut se servir de cette pâte pour fixer le mercure sur le verre sans l'intermédiaire de l'étain; il suffit pour cela de l'étendre en couches très-minces, et de chauffer légèrement le verre; la chaleur chasse une partie de l'eau, et l'autre partie sert d'intermédiaire entre le verre et le mercure, pour faire adhérer ce dernier. L'adhérence est assez forte pour empêcher qu'un choc un peu fort imprimé au verre n'en détache le métal. Nous croyons qu'une des causes de l'adhérence doit être attribuée aussi à la présence d'une petite quantité d'oxide de mercure dans le métal; car l'on sait, d'après les expériences de M. Dulong, que le mercure peut adhérer au verre en raison de l'oxide qu'il renferme. On parvient, par le même procédé, à fixer sur le verre les amalgames d'or et d'argent : nous n'en faisons mention ici que parce qu'il se pourrait faire qu'on eût besoin de semblables surfaces métalliques, dans des expériences sur la lumière ou la chaleur.

La chaux, et par suite la baryte, et la strontiane ne se comportent pas comme les alcalis à l'aide de la chaleur, par rapport à l'oxide de cuivre et aux matières sucrées. Nous avons vu que les alcalis font passer l'oxide, suivant la nature de la matière sucrée, à l'état de protoxide ou bien à l'état métallique : la chaux, qui dissout facilement cet oxide par l'intermédiaire des mêmes matières, ne jouit pas de la propriété d'opérer une de ces deux réductions à l'aide de la chaleur; elle détermine un précipité jaune-orangé, formé de protoxide de cuivre et de chaux, dont on connaît aisément la nature en le traitant par l'ammoniaque. La baryte et la strontiane donnent lieu également à la formation d'un protocuprate de baryte et de strontiane; l'action spontanée produit les mêmes effets, et l'on peut même s'en

servir pour accélérer la formation des cristaux de carbonate hydraté de chaux, car le deutoxide de cuivre, en passant à l'état de protoxide, cède une partie de son oxigène au carbone; l'acide carbonique se combine alors avec la chaux, et il se précipite sur les parois du vase un protocuprate de chaux orangé.

On peut obtenir également du protocuprate de potasse et de soude.

§ II. *De la cristallisation de quelques oxides métalliques par l'intermédiaire du peroxide de potassium.*

1188. Puisque nous cherchons tous les moyens que la nature a pu employer pour former les substances qui se trouvent dans les diverses formations de la terre, nous ne devons omettre aucun de ceux dont les sciences physiques et chimiques peuvent disposer pour faire cristalliser divers composés, entre autres les oxides métalliques dont plusieurs n'ont pu être obtenus en cristaux réguliers par aucun des moyens dont disposent la chimie et l'électro-chimie.

Nous avons eu l'idée de prendre pour dissolvant le peroxide de potassium, qui, en raison de son degré d'oxigénation, ne doit pas posséder la faculté de former avec eux des combinaisons aussi stables que la potasse, qui est une base plus énergique.

On sait que lorsqu'on chauffe de la potasse dans un creuset d'argent découvert, elle fond, perd une partie de son eau et prend à l'air, en échange, de l'oxigène pour se transformer en peroxide de potassium. Quand le creuset est refroidi, vient-on à jeter de l'eau sur le peroxide, il y a dégagement d'oxigène. Cela posé, si l'on met dans un semblable creuset un demi-gramme de deutoxide de cuivre, avec 2 ou 3 grammes de potasse à l'alcool, et que l'on porte la température, pendant quelques minutes, jusqu'au rouge naissant, le deutoxide s'y dissout complétement. La dissolution étant refroidie, si

l'on traite la masse par l'eau, il y a dégagement de gaz oxigène pur; ce qui annonce qu'il s'est formé du peroxide de potassium. Il se précipite en même temps des flocons de deutoxide de cuivre et des petits cristaux de même nature, dont plusieurs ont quelquefois 1 ou 2 millimètres de longueur, lorsqu'une partie de la potasse a été transformée en peroxide de potassium, et que le refroidissement a été lent. Ces cristaux sont des octaèdres réguliers d'un vif éclat métallique. Ils se forment à l'instant où commence le refroidissement, car il est impossible de les distinguer dans la masse solide avant le lavage; ils ne renferment aucune trace de potasse et jouissent de toutes les propriétés propres au deutoxide de cuivre. On doit ajouter que le succès de l'expérience dépend de la pureté de la potasse; car si l'on emploie de la potasse à la chaux, il y a à peine apparence de cristaux dans le précipité.

On pent se faire ici deux questions : La potasse forme-t-elle avec l'oxide de cuivre deux combinaisons, dont l'une est stable tant qu'elle n'a pas le contact de l'eau, et dont l'autre est détruite au-dessous d'une certaine température? ou bien : Le peroxide de potassium qui se forme, comme l'annonce le dégagement d'oxigène, jouit-il de la propriété de dissoudre à une certaine température une portion de l'oxide de cuivre, tandis que l'autre se combine avec la potasse non décomposée? L'expérience suivante sert à fixer les idées à cet égard.

On a mis dans un tube de verre, fermé par un bout, un décigramme de deutoxide de cuivre, avec quelques décigrammes de potasse; l'autre bout a été effilé à la lampe, et on l'a fermé tout à fait quand une partie de l'eau a été chassée. La température a été portée ensuite au rouge naissant. Après le refroidissement, la masse a été traitée avec l'eau ; il ne s'est précipité que des flocons d'oxide de cuivre sans cristaux. Ainsi l'oxide a été dissous comme à l'ordinaire par la potasse; or, comme il n'y a pas eu formation de peroxide de potassium, cette expérience prouve que la production de ce composé dans le creuset

d'argent a été une cause déterminante pour la dissolution et la cristallisation du deutoxide de cuivre.

La formation des cristaux de deutoxide de cuivre s'opère, avons-nous dit, toutes les fois que le creuset reste assez longtemps au feu pour qu'il y ait production de peroxide de potassium ; mais si on l'y maintient à la température rouge, pendant quelque temps, tout le deutoxide se change en protoxide. Les cristaux de ce composé ont une couleur rouge de brique, et sont beaucoup plus petits que ceux de deutoxide. Il est probable que, dans cette transformation, le deutoxide cède une portion de son oxigène au protoxide de potassium, pour le faire passer à l'état de peroxide.

Le protoxide de plomb, traité de la même manière que le deutoxide de cuivre, donne des lames carrées et même des petits cubes de protoxide, quand on laisse le creuset exposé peu de temps à la chaleur; mais si cette action est continuée pendant quelque temps, le protoxide passe à l'état de peroxide, qui cristallise en lames hexagonales d'une couleur puce avec des reflets jaunâtres.

Le phosphate et le sulfate de plomb, traités de la même manière, sont entièrement décomposés par la potasse, suivant la durée de l'expérience et le degré de chaleur. On obtient des cristaux de protoxide ou de deutoxide.

L'oxide de cobalt a été obtenu par la même méthode en lames carrées qui paraissent dépendre du même système cristallin que les cristaux de deutoxide avec lesquels ils sont isomorphes. L'oxide de zinc se présente sous la forme d'aiguilles cristallisées de couleur jaune sale. L'oxide de cobalt n'a pu donner des cristaux, ainsi que le peroxide de fer, qui se dissout très-bien à l'aide de la chaleur dans celui de potassium, et dont il se sépare par le lavage en flocons rouges, avec un dégagement rapide de gaz oxigène pur. Tels sont les oxides qu'on a pu obtenir cristallisés jusqu'ici par le procédé que nous venons d'indiquer.

§ III. *De la dissolution du sulfate de baryte et du stéaschiste dans les eaux acidules carbonatées.*

1189. M. Fournet, pendant qu'il dirigeait l'exploitation de la mine de plomb argentifère de Pontgibaud, a eu occasion de constater un fait qui n'est pas sans intérêt pour les personnes qui s'occupent des altérations des roches.

Dans le filon du Pré, au-dessous de Barbecot, les mineurs furent obligés d'arrêter les travaux de recherche par un jet d'eau extrêmement violent, auquel un coup de poudre venait de donner une issue. L'eau était chargée d'acide carbonique tellement condensé qu'il fut impossible de pénétrer dans la galerie pendant plusieurs jours.

L'eau qui sortit dans les premiers moments était surchargée d'une matière blanche qui était tenue en suspension. Cette matière fut remplacée ensuite par des dépôts ferrugineux.

M. Fournet, aussitôt qu'il fut possible de s'avancer dans la galerie, reconnut que cette eau sortait d'une masse de baryte sulfatée caverneuse. Les parois en étaient altérées et même cariées à un tel point que la texture cristalline de la baryte sulfatée avait été mise à nu comme dans le moiré métallique. Dès lors il fut démontré que le sulfate de baryte était décomposé par les bicarbonates des eaux minérales de la même manière que le sulfate de plomb est attaqué par le bicarbonate de potasse.

Il fut constaté aussi que des fragments de stéaschiste, qui étaient empâtés dans le sulfate de baryte, avaient éprouvé l'action dissolvante des eaux acidules : il ne restait plus, dans quelques parties, que des grains quartzeux.

Ces observations sont, comme nous l'avons déjà dit, d'une grande importance pour les phénomènes géologiques.

§ IV. *Actions lentes à l'aide desquelles on forme des silicates.*

1190. M. Cagniard-Latour a imaginé plusieurs procédés fondés sur des actions lentes, pour former plusieurs substances dont on retrouve les analogues dans la nature. Nous allons citer quelques-unes des expériences qu'il a faites à cet égard.

Première expérience. — Du noir de fumée a été traité à chaud par l'acide nitrique concentré; la liqueur, après avoir été décantée, a été exposée sous cloche, pendant plusieurs mois, à l'action de la lumière solaire; à fur et à mesure que l'acide diminuait, on ajoutait de l'eau ou de l'acide. Il s'est formé peu à peu des concrétions siliceuses, dont quelques-unes affectaient la forme pyramidale. L'analyse a indiqué 2 pour cent de carbone. Ces concrétions, soumises, dans un creuset de platine, à l'action de la potasse caustique, à la flamme d'une lampe à alcool, ont diminué de grosseur. Leur dureté est suffisante pour rayer le cristal de roche.

Le noir de fumée, comme on sait, renferme un grand nombre de substances. Le charbon, d'après Braconnot, y entre pour 79,1 pour cent; on y trouve des sulfates à base de potasse de chaux et d'ammoniaque, de la silice, etc., etc. Il n'est donc pas étonnant que l'acide nitrique ait dissous du carbone et de la silice, si celle-ci surtout s'y trouvait dans un grand état de division. En exposant la solution à la lumière solaire, l'acide nitrique a été décomposé peu à peu, et rien ne s'est opposé alors à ce que la silice en cristallisant s'emparât d'une petite quantité de carbone.

Deuxième expérience. — On a pris du fer limoneux du Berry; après l'avoir réduit en poudre très-fine, on l'a traité par l'acide hydro-chlorique. La solution ayant été étendue d'eau, a été filtrée; on l'a mise dans une grande cucurbite, puis on a suspendu dedans une capsule de verre dans laquelle se trouvait un morceau de marbre blanc. Ce marbre a été attaqué peu à peu, il y a eu dé-

gagement de gaz acide carbonique, dépôt d'oxide de fer et formation de cristaux de un à deux millimètres de longueur, ayant la forme du feldspath. Ces cristaux étaient d'autant plus gros qu'on laissait les substances réagir plus longtemps. Ils sont infusibles et rayent le verre. L'expérience a duré six mois. Le fer limoneux étant un composé de silice, d'alumine et de peroxide de fer, il est probable que l'acide hydro-chlorique a dissous une certaine quantité de ces trois substances et que la réaction de la solution étendue d'eau sur le calcaire, a mis en présence la silice, l'alumine et la chaux, qui se seront combinées de manière à former du feldspath à base de chaux, à mesure que l'excès d'acide a été enlevé par la chaux.

Troisième expérience.—On a versé un lait de chaux dans une solution de perchlorure de fer; le précipité formé, après avoir été lavé à grande eau, a été dissous dans l'acide hydro-chlorique. La dissolution ayant été filtrée par les moyens ordinaires, a été filtrée de nouveau à travers de la craie de Meudon, qu'on avait fait passer dans une batiste très-fine, à l'aide de l'eau pour en séparer les grains quartzeux et toutes les matières étrangères. Il s'est déposé dans la craie de l'oxide de fer. Quand la filtration était difficile, on acidifiait la liqueur. Au bout de quinze jours on a repassé par la batiste le blanc de Meudon, et l'on a traité par l'acide hydro-chlorique la partie qui n'avait pas passé; on a obtenu de petites concrétions siliceuses opalines, dont plusieurs ont la forme de couronnes et présentent une fente du centre à la circonférence; elles sont infusibles au chalumeau et rayent le fer; celles qui sont colorées étant chauffées modérément prennent une teinte enfumée, en raison de la matière organique qu'elles renferment. Ces concrétions doivent leur formation très-probablement à la réaction lente de la dissolution du peroxide de fer et de la silice dans l'acide hydro-chlorique, sur la craie qui renferme aussi de la silice. A mesure que l'excès d'acide se portait sur la chaux de la craie, la silice et le fer se précipitaient.

Les trois expériences que nous venons de rapporter sont importantes en ce qu'elles font connaître quelques circonstances dans lesquelles les particules de la silice prennent un état cristallin, analogue à celui du quartz de la nature.

1190. Nous allons citer encore quelques exemples de formation de cristaux de silice, qui ne sont pas sans intérêt pour l'étude des actions lentes.

On sait, depuis longtemps, que lorsqu'on expose à l'air libre une solution de silice dans la potasse, autrement dit liqueur des cailloux, à mesure que la potasse absorbe l'acide carbonique de l'air, elle abandonne la silice qui cristallise quelquefois en prismes hexaèdres, terminés par des pyramides, comme le quartz naturel, mais on a reconnu que ce quartz renferme toujours une certaine quantité de potasse.

M. Pelouse a conservé, pendant deux ans, de l'acide hydro-chlorique concentré dans une bouteille de verre vert. Il a retrouvé, après ce temps, au fond de la bouteille des grains cristallisés de quartz, contenant environ $\frac{1}{100}$ de potasse. L'acide hydro-chlorique, en réagissant sur le verre, s'est emparé de l'alcali et a mis en liberté la silice qui a cristallisé. Il est infiniment probable que cette substance a été dissoute et que la cristallisation n'a commencé que lorsque l'acide en a été sursaturé.

1191. M. Cagniard-Latour ayant traité des scories de fer, composées en grande partie de silicate de ce métal, par le sous-carbonate de soude, à l'aide de la chaleur, a dissous la combinaison dans l'eau, puis a filtré et a acidifié pour saturer l'excès d'alcali et dissoudre la silice. Cette dissolution, abandonnée à elle-même, a déposé, par l'évaporation, des grains siliceux cristallisés, infusibles au chalumeau et ne rayant pas le verre.

1192. Nous-même ayant mis dans un tube fermé par un bout un silicate et un aluminate de cuivre avec une lame de fer et une solution saturée de sel marin, peu à

peu les deux sels insolubles ont été décomposés : le cuivre s'est précipité sur le fer, la silice et l'alumine se sont combinées et ont déposé sur la paroi du tube de très-petits cristaux à face rectangulaire, qui ne peuvent appartenir qu'à un silicate ou à un sous-silicate d'alumine, tel que le disthène d'Haüy, qui a pour forme primitive un prisme oblique quadrangulaire, dont les faces longitudinales sont rectangulaires.

LIVRE XII.

DE L'INFLUENCE DES EFFETS ÉLECTRIQUES SUR LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

§ Ier. *Considérations générales.*

1194. Avant de chercher à reconnaître si les phénomènes géologiques sont influencés par l'électricité, il faut s'assurer s'il existe ou non des courants électriques dans le globe, que l'on puisse reconnaître à l'aide de nos appareils.

M. Ampère, dont les idées grandes et neuves en philosophie devançaient quelquefois l'expérience, a admis, pour expliquer l'action de la terre sur l'aiguille aimantée, qu'il devait exister des courants électriques disséminés dans la croûte du globe, et dirigés de l'est à l'ouest. Les phénomènes d'induction découverts par M. Faraday ont contribué à donner de la vraisemblance à cette hypothèse, mais il faut encore de nouveaux faits pour l'admettre définitivement.

La question de l'existence des courants dans le globe étant de la plus haute importance pour l'explication d'un

grand nombre de phénomènes naturels, nous allons essayer de la traiter aussi complétement que le permet l'état actuel de la science. Le moyen le plus direct pour y parvenir, est de faire connaître toutes les causes qui peuvent donner lieu à un dégagement d'électricité dans l'intérieur du globe; mais il faut pour cela prendre la terre à son origine et suivre, pour ainsi dire pas à pas, les changements qu'elle a éprouvés depuis son origine jusqu'à nos jours, sans cependant entrer dans des détails qui nous éloigneraient trop du but que nous nous proposons. Nous présenterons d'abord les faits, puis les hypothèses que l'on a imaginées pour les expliquer; nous en discuterons le mérite, et nous aborderons ensuite la question des courants électriques terrestres.

§ II. *Effets généraux observés à la surface du globe.*

1195. Lorsqu'un voyageur parcourt un pays de plaines, il rencontre fréquemment sous le sol des dépôts en couches horizontales de substances renfermant des débris de corps organisés, qui sont souvent dans un état parfait de conservation, tels que des coquilles pourvues encore de leurs tests, de leurs pointes et de leurs contours les plus délicats. Il admet sur-le-champ que ces dépôts ont été formés par des eaux qui ont séjourné longtemps dans ces localités. Mais s'il se transporte sur les hautes montagnes ou dans les vallées, la scène change: il voit de tous côtés des monceaux de ruines qui lui annoncent que des révolutions et des catastrophes violentes ont bouleversé la surface du globe dans plusieurs parties. Ces dépôts qui se trouvaient dans les plaines en couches horizontales, sont ici relevés, et d'autant plus qu'ils sont rapprochés davantage des hautes chaînes. Leur inclinaison est la même, mais en sens inverse sur les revers opposés. Ces faits lui annoncent donc qu'une cause intérieure a soulevé la surface du globe, l'a déchirée et a produit ces montagnes qui la sillonnent dans tous les sens. Son étonnement redouble encore quand

il reconnaît que ces monceaux de ruines, ces dépôts, en couches souvent presque verticales, sont recouverts quelquefois d'autres dépôts formés par des eaux tranquilles, et qui se trouvent par conséquent dans une position horizontale; dès lors il reste convaincu que le globe a éprouvé des alternatives de trouble et de calme pendant lesquelles la nature a agi d'abord avec violence, ensuite avec beaucoup de lenteur.

1196. Les géologues, d'après les observations de de Saussure sur les pouddings de la Valorsnie, croient généralement que les terrains de sédiment, dont les couches sont plus ou moins inclinées à l'horizon, ont été déplacés, soulevés par une cause violente venue de l'intérieur de la terre, qui a agi après leur formation et a donné aux diverses aspérités du globe des caractères particuliers.

Ces causes n'ayant pas agi aux mêmes époques, il en est résulté plusieurs classes de montagnes, qui se distinguent entre elles par la direction qu'elles affectent.

C'est ainsi que M. Léopold de Buch a montré que le sol de l'Allemagne pouvait se diviser en quatre classes ou systèmes. Mais il restait à déterminer l'âge relatif des montagnes, c'est-à-dire la classification par époque des soulèvements successifs qui ont donné à la surface terrestre sa configuration actuelle. Cet important travail a été exécuté par M. Élie de Beaumont de la manière la plus remarquable.

1197. Les gneiss, les granites, etc., sont les terrains qui paraissent les plus anciennement formés. Ce sont ces formations qui, par l'effet des soulèvements ou des ridements, pour nous conformer aux idées de M. Élie de Beaumont, traversent les terrains de nouvelle formation et apparaissent au-dessus sous la forme de pics ou d'aiguilles. Ces grandes masses de roches, qui forment en quelque sorte la charpente de l'écorce de notre globe, proviennent-elles d'une dissolution aqueuse ou d'une dissolution ignée? Ces deux opinions ont partagé longtemps les géologues en deux classes, les neptuniens et les

plutonniens; mais aujourd'hui il est généralement reconnu qu'à l'époque où elles ont été formées, la température du globe était tellement élevée, que la chaleur a dû agir seule. Ainsi donc le feu a exercé toute son action dans les premiers temps, lorsque l'enveloppe solide avait encore peu d'épaisseur et possédait une température considérable; et l'eau, quand cette température a été suffisamment abaissée pour qu'elle pût se maintenir à la surface du globe à l'état liquide. Quelques granites et des gneiss ne sont peut-être que des agglomérats dont les parties constituantes ont été d'abord fondues, puis réunies ensuite par l'eau. A cette première époque, les corps organisés n'avaient pas encore paru sur le globe, la nature inorganique y régnait seule.

§ III. *Des phénomènes volcaniques.*

1198. Il n'a été question encore que de faits bien constatés, sur lesquels tous les géologues sont d'accord; continuons à suivre la même marche avant de présenter des conjectures. Parlons des phénomènes volcaniques qui viennent nous révéler ce qui se passe dans l'intérieur de la terre.

En reconnaissant une origine ignée à la terre, nous admettons que la chaleur a dû exercer une grande influence sur les phénomènes qui se sont passés dans les premiers âges du monde. Les éruptions volcaniques, qui étaient alors très-fréquentes, soulevaient les montagnes et bouleversaient la surface terrestre; aujourd'hui, la croûte ayant acquis une certaine épaisseur, oppose une grande résistance à l'action des feux souterrains qui ne nous donnent plus qu'une faible idée de leur puissante énergie dans les premiers temps. Nous allons maintenant exposer leurs effets actuels, afin de pouvoir remonter à ce qui se passait alors.

Un bruit souterrain, semblable à celui du canon ou à un fracas de voiture roulant sur le pavé, des tremblements de terre, et assez fréquemment des changements

dans l'état de la température, tels sont les signes avant-coureurs d'une éruption volcanique. Cette éruption commence ordinairement par une colonne de fumée épaisse, qui s'élève à une hauteur prodigieuse et finit, quand elle n'a plus de vitesse de projection, par se refouler sur elle-même, de manière à former une série de sphères de vapeurs aqueuses qui, se condensant par le froid des régions supérieures, retombent en pluies abondantes, accompagnées de tonnerres effroyables. Du milieu de cette colonne s'élève une gerbe de feu, visible seulement à sa partie supérieure. Cet ensemble de fumée et de flammes, sillonnées dans tous les sens par la foudre, forme le tableau le plus imposant que la nature puisse nous offrir. Bientôt après, il sort du cratère, avec une vitesse excessive, des pierres incandescentes et une quantité incroyable de cendres d'une si grande ténuité qu'elles peuvent être transportées par le vent à des distances considérables. Ces cendres ne retombent pas toujours sèches sur le sol, car elles sont fréquemment pénétrées de vapeurs aqueuses; des laves en ignition et des produits boueux arrivent ensuite. Ces laves proviennent de substances liquéfiées dans les foyers du volcan, et sont lancées en dehors par la force expansive des fluides élastiques qui se dégagent dans les mêmes foyers; leur surface est agitée par de forts bouillonnements d'où s'échappent du gaz et de la fumée bleuâtre, formée de sel marin ou d'autres substances. Ces laves, en sortant par les bords du cratère, suivent les directions les plus favorables que le terrain leur présente. Au contact de l'air, leur surface, en se refroidissant, se solidifie, et la lave continue à couler dessous jusqu'à ce qu'il se présente un obstacle; alors elle s'y arrête, s'y amoncelle, finit par monter sur la partie solidifiée et continue son cours comme auparavant, jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par un nouvel obstacle. Il arrive souvent que la lave, s'accumulant dans certains endroits, conserve la chaleur si longtemps, en raison de la mauvaise conductibilité des éléments qui la composent, que Dolomieu assure l'avoir

trouvée sensible au Vésuve dans un amas formé depuis dix ans. La surface des laves est ordinairement scorifiée et criblée de petites ouvertures par lesquelles se sont échappés les gaz renfermés dans l'intérieur.

Outre les phénomènes dont on vient de parler, il existe encore dans certains volcans des éruptions boueuses auxquelles sont dus les courants de même nature qui suivent diverses directions sur les flancs des montagnes, comme les laves incandescentes. L'existence de ces éruptions a été constatée par M. de Humboldt dans les volcans en activité du nouveau monde. La remarque faite par ce célèbre voyageur d'une quantité innombrable de petits poissons rejetés dans l'éruption d'un volcan du Mexique, ne laisse aucun doute à cet égard; car si la lave eût été primitivement à l'état d'incandescence, il ne serait resté aucun vestige de la matière animale. Ces poissons étaient en si grand nombre que leur putréfaction répandit dans l'air une odeur infecte qui occasionna des maladies épidémiques. La lave qui renfermait les détritus de ces poissons s'est changée en une espèce de porphyre que les naturels du pays exploitent pour s'en servir comme de combustible.

Il existe une différence bien marquée entre les terrains volcaniques de l'ancien monde et ceux du nouveau. Les premiers ont la forme d'un pain de sucre, et la matière est continuellement rejetée de manière à l'augmenter en hauteur; dans les terrains volcaniques du nouveau monde, il y a quelquefois soulèvement de terrain, et les éruptions se font par des cheminées dans l'axe du cône soulevé. De plus, les volcans de notre continent sont toujours dans des pays de montagnes, à peu de distance de la mer, tandis que ceux de l'Amérique sont situés assez loin des côtes et sur des plateaux assez élevés pour que les laves ne puissent s'épancher à leur surface.

Les éruptions d'un même volcan ont souvent lieu à des époques éloignées; on a remarqué qu'elles sont d'autant plus rares que les montagnes volcaniques sont plus élevées.

Les volcans qui s'éteignent se changent souvent en soufrières, ou montagnes qui dégagent du soufre, comme la Solfatare près de Pouzzole. Vers la fin des éruptions, il s'élève de la terre des miasmes infects qui nuisent à la santé des hommes et des animaux.

Les phénomènes volcaniques déterminent souvent des changements dans la forme du sol; des parties de la surface s'élèvent subitement. Souvent il se forme à la surface de la terre des fentes et des crevasses par lesquelles les forces volcaniques manifestent leur activité.

Des sources d'eaux acidulées sourdent quelquefois. D'autres sources, déjà existantes, éprouvent des changements remarquables.

Les masses de rochers que lancent les volcans sont ou des pierres volcaniques, des ponces, des scories, des fragments de laves, des masses vitrifiées, des cristaux amoncelés, des brèches, etc. Ces masses sont projetées quelquefois à des hauteurs considérables. Le Cotopaxi a lancé, en 1533, des rochers de trois à quatre mètres de diamètre.

Le Vésuve lance parfois du granite, du mica-schiste et autres substances qui, n'ayant pas été altérées par le feu, font connaître la nature des terrains que traversent les matières volcaniques; les gaz qui se dégagent de ce volcan sont les acides sulfureux et hydro-chlorique, quelquefois l'acide carbonique et rarement l'azote. Le sel marin, le sel ammoniac, les chlorures de cuivre, de fer, l'acide borique, le soufre, le sulfure d'arsenic, se subliment dans les fissures des roches et sur les parois du cratère.

1199. Les volcans du nouveau monde ne dégagent pas les mêmes gaz que le Vésuve. M. Boussingault, qui a examiné la nature des fluides élastiques qui se dégagent des volcans situés entre le 5e degré de latitude nord et la ligne équinoxiale, a reconnu que le volcan du Talima fournit de la vapeur d'eau, du gaz acide carbonique et du gaz acide hydro-sulfurique, ainsi que les volcans de Puracé, de Pastoé et de Tuquères. Le volcan de Com-

bal, situé très-près de la ligne équinoxiale, lui a donné en outre de la vapeur de soufre, et comme produits accidentels, de l'acide sulfureux et de l'azote; on voit, d'après cela, que l'acide hydro-chlorique, l'hydrogène et l'azote ne font pas partie des gaz qui se dégagent des volcans de l'équateur américain.

§ IV. *Hypothèses imaginées pour expliquer les phénomènes géologiques.*

1200. Voilà les faits les plus importants qui peuvent nous éclairer sur la nature des réactions chimiques violentes qui s'opèrent dans l'intérieur du globe. Arrivons actuellement aux hypothèses les plus admissibles qu'on a imaginées pour expliquer non-seulement toutes les actions chimiques qui ont eu lieu depuis que la terre est formée jusqu'à nos jours, mais encore les effets électriques qui en résultent et auxquels on attribue le magnétisme terrestre et d'autres phénomènes dont il sera parlé ci-après. La plupart de nos assertions seront conformes aux idées d'Ampère.

Herschel, pour expliquer la formation de notre globe, a admis que a matière dont tous les astres sont formés a été d'abord à l'état gazeux. Voici les observations qui lui ont servi à établir cette théorie : Les nébuleuses se montrent à nous sous divers aspects; les unes ne présentent qu'une lumière diffuse et homogène, les autres nous offrent, au milieu de cette même lumière, des points plus brillants qui semblent annoncer un rapprochement plus grand entre les parties et par suite des noyaux liquides ou solides. L'éclat de ces points augmente en intensité à mesure que la lumière diffuse s'affaiblit. Ces apparences paraissent indiquer les diverses phases qu'éprouvent les corps célestes dans leur formation. Chaque nébuleuse serait donc le germe d'un système de monde analogue à notre système planétaire.

1201. Ampère, en partant de ces idées, suppose que

tous les corps qui ont concouru à la formation de notre système planétaire possédaient une température plus élevée que celle à laquelle celui de tous les corps qui est le moins volatil resterait à l'état liquide. Le refroidissement s'effectuant peu à peu, par le rayonnement dans les espaces célestes, il sera arrivé un instant où il y aura eu un premier dépôt, formé d'une seule substance simple ou composée, attendu qu'il serait difficile d'admettre que deux substances différentes se liquéfiassent précisément au même degré de température. Cette masse liquide, en raison de l'attraction mutuelle de ses parties, aura pris la forme d'un sphéroïde aplati, si elle était soumise à un mouvement de rotation sur elle-même. Le refroidissement continuant, une seconde substance gazeuse se sera liquéfiée et aura formé un dépôt concentrique sur le premier noyau. Il se sera déposé ainsi diverses substances qui auront passé de l'état gazeux à l'état solide par suite de refroidissements successifs. Les parties centrales devaient toujours posséder une température supérieure à celle des couches extérieures.

Jusqu'ici nous avons négligé la réaction chimique que les diverses substances, qui passaient à l'état liquide ou à l'état gazeux, pouvaient exercer les unes sur les autres. Voyons ce qui a dû alors arriver.

Lorsqu'une seconde couche s'est déposée à l'état liquide ou à l'état solide, il a dû en résulter une action chimique, de nouvelles combinaisons solides et liquides, un dégagement de chaleur, des explosions et des déchirements, et même retour à l'état gazeux de quelques-uns des éléments contenus dans les couches déjà formées; puis soulèvement de la surface dans quelques parties; des couches inférieures qui étaient d'abord solidifiées, ont donc pu revenir à l'état liquide. Dans ce cas, le maximum d'élévation de température devait se trouver non au centre, mais au contact même des couches, dont les parties réagissaient les unes sur les autres.

On conçoit que les phénomènes que nous venons de décrire, sur la première couche qui se trouvait à l'état

liquide, ont dû se répéter chaque fois qu'il s'en formait de nouvelles capables de réagir chimiquement sur les parties constituantes de la couche formée antérieurement.

Il a pu se faire que deux couches contiguës n'exerçassent aucune action l'une sur l'autre, mais que celle qui était placée au-dessus, en pénétrant par des fissures, arrivât jusqu'à une couche attaquable. Dans ce cas, il a dû résulter des explosions capables de soulever les croûtes déjà formées. Voilà comme on peut expliquer les révolutions qui ont changé, à diverses époques, la configuration du globe. D'après cette manière de voir, la température de la terre, au lieu de se refroidir graduellement, aura dû s'élever d'une manière brusque, toutes les fois que les réactions chimiques dont on vient de parler se seront produites. Il sera arrivé un point où il n'y aura plus eu que l'eau qui aura réagi chimiquement.

Ampère regarde la présence de la grande quantité d'azote qui se trouve dans l'atmosphère comme une preuve des bouleversements qu'a produits sur le globe la décomposition des corps oxigénés par les métaux. Il pense que cet azote a dû être combiné dans l'origine avec l'oxigène, de manière à produire de l'acide nitreux et de l'acide nitrique. Tout l'oxigène de ces acides aura servi à former la silice, l'alumine, la chaux, etc. L'oxigène qui reste dans l'atmosphère est précisément celui qui n'est pas entré en combinaison. Il est bien certain que lorsque l'acide nitrique a réagi sur les métaux, il s'est formé bientôt une couche oxidée avec un dégagement considérable de chaleur qui a dû volatiliser une portion des liquides déjà produits. Le refroidissement continuant, il se sera formé un vaste océan d'acide nitrique qui n'aura pas attaqué la couche oxidée; la quantité d'acide augmentant chaque jour, il aura pénétré par des fissures dans l'intérieur, et il en sera résulté des actions violentes qui auront fait voler la croûte en éclats.

Tous ces phénomènes auront diminué d'intensité à mesure que la croûte aura pris plus d'épaisseur; mais

aussi plus les cataclysmes devenaient rares, plus ils étaient violents. On conçoit alors que la terre a dû se hérisser de montagnes provenant des éclats de la croûte soulevée suivant diverses inclinaisons. Il sera arrivé un instant où la terre n'aura plus été entourée que d'une atmosphère formée de fluides élastiques permanents dans des proportions fort différentes : par exemple, dans ces premiers temps, comme portent à le croire les observations de M. Ad. Brongniart, l'atmosphère renfermait une plus grande quantité d'acide carbonique qu'elle n'en contient aujourd'hui. Cette atmosphère était impropre à la respiration, mais devait contribuer puissamment à la végétation, qui trouvait dans l'air une plus grande quantité de carbone qu'il ne peut lui en fournir aujourd'hui. Cette puissance de la végétation était favorisée par un plus haut degré de température.

Voilà comme on peut concevoir l'apparition des végétaux gigantesques avant celle des animaux.

On voit parfaitement que toutes les fois qu'il y avait un grand cataclysme, la température du globe s'élevait considérablement et devait empêcher le développement de tout corps organisé, jusqu'à ce que la température fût abaissée; c'est ce que prouve effectivement l'existence de couches exemptes de corps organisés entre des couches qui nous offrent des débris nombreux de ces corps.

C'est à cette époque que les débris des forêts, en se décomposant, auront donné naissance aux grands amas de houille.

Aujourd'hui que la croûte d'oxide qui nous sépare du noyau non oxidé a une grande épaisseur, les bouleversements sont devenus très-rares; la résistance qu'elle oppose est telle que lorsqu'il y a une fissure, l'explosion se fait isolément. Ces effets ne s'étendent point à toute la terre; quoique le choc se propage à de grandes distances, il ne s'opère que des déjections partielles.

L'existence d'une couche non oxidée, signalée par Davy et admise par Ampère, permet d'expliquer les volcans, sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'hypo-

thèse d'une chaleur énorme que posséderaient les parties centrales de la terre.

D'après cette manière de voir, un volcan ne serait autre chose qu'une fissure permanente qui servirait à établir la communication entre la couche non oxidée et les liquides qui se trouvent à la surface du globe. Quand le contact a lieu, il se produit des élévations de terrain, puisque les substances non oxidées en s'oxidant augmentent de volume. Quand la réaction a lieu, c'est au contact des deux corps que se dégage le plus de chaleur, laquelle se propage dans le globe, au-dessus et au-dessous.

La théorie de M. Ampère paraît être opposée à l'hypothèse de ceux qui admettent une chaleur centrale qui tient en fusion toutes les substances qui forment le noyau du globe. Suivant lui, si cette liquidité du noyau de la terre existait, la lune exercerait sur la masse de liquide une action d'où résulterait des marées analogues à celles de nos mers, dont les effets, sur l'enveloppe de la terre, seraient terribles en raison de l'étendue et de la densité du liquide.

1202. Reprenons la théorie de Davy, et par suite celle d'Ampère, pour faire connaître les objections qu'on y a faites.

Davy, aussitôt après la découverte des métaux, des terres et des alcalis, supposa que ces mêmes métaux existaient à de grandes profondeurs dans la terre et que leur contact avec l'eau produisait tous les effets volcaniques connus. Suivant ce célèbre chimiste, les changements qui produisent les feux volcaniques ont lieu dans d'immenses cavités souterraines, où l'air pénètre jusqu'aux substances actives, longtemps avant que celles-ci atteignent la surface extérieure.

Le tonnerre souterrain entendu à de si grandes distances sous le Vésuve est, suivant lui, presque une démonstration de grandes cavités souterraines, remplies de substances aériformes. Quand le volcan est tranquille, elles doivent se remplir d'air atmosphérique. L'air et la vapeur d'eau renfermés dans ces cavités, agissant sur

les métaux des terres, sont la cause des phénomènes volcaniques. Si les laves peuvent être ainsi formées, le phénomène entier se trouve expliqué par l'action de l'eau de mer et de l'air sur les métaux. Le voisinage des grands volcans, des côtes de la mer, vient à l'appui de cette explication. Quand ils en sont plus éloignés, comme ceux de l'Amérique du Sud, l'eau peut venir de grands lacs souterrains, dont M. de Humboldt a signalé l'existence, en indiquant des poissons dans des produits volcaniques.

1203. M. Gay-Lussac a fait à cette théorie des objections sérieuses: Comment l'air pourrait-il pénétrer dans les foyers volcaniques, quand il y existe du dedans au dehors une pression que l'on peut évaluer à 300 atmosphères environ, puisqu'elle élève la lave, trois fois plus pesante que l'eau, à une hauteur de plus de mille mètres.

Si l'air pouvait s'y introduire, les tremblements de terre, suivant la manière de voir de Davy, deviendraient impossibles. D'un autre côté, si les actions volcaniques étaient dues à la décomposition de l'eau par les métaux, des terres et des alcalis, il devrait y avoir un dégagement énorme de gaz hydrogène; or, on n'aperçoit jamais aucune inflammation de ce gaz au-dessus du cratère. Il pourrait se faire cependant que ce gaz, en se combinant avec le chlore, formât de l'acide hydro-chlorique; mais dans ce cas la quantité de cet acide devrait être plus considérable qu'elle n'est réellement.

Suivant M. Gay-Lussac, les phénomènes volcaniques pourraient être dus à l'action des eaux de la mer sur les chlorures des métaux, des terres et des alcalis, laquelle dégage probablement assez de chaleur pour vaporiser de l'eau, décomposer le sel marin, et produire tous les autres effets. Quant à la formation de l'acide sulfureux, il faudrait admettre qu'il existe avec les chlorures, des sulfures qui sont également décomposés par la haute température des réactions chimiques. Alors le soufre en vapeur, s'élevant avec les autres matières, se changerait en acide sulfureux aussitôt qu'il aurait le contact de l'air.

Il est très-probable que l'eau de la mer pénètre dans les foyers volcaniques; mais pourquoi la lave ne sort-elle pas aussi par les mêmes canaux conducteurs, puisqu'elle y trouverait une résistance moindre que partout ailleurs? On répond à cette objection que les longues intermittences des volcans font présumer que l'eau pénètre peu à peu par sa propre pression, dans des fissures imperméables et s'y accumule dans de vastes cavités que renferme la terre. Les feux volcaniques se rallument ensuite peu à peu, et la lave, après avoir obstrué les canaux par lesquels l'eau était arrivée, s'élève par son soupirail accoutumé.

1204. Enfin, nous terminerons ce qui concerne les volcans, dont nous avons grand intérêt à connaître les effets, par l'exposé des considérations que nous devons à M. de Humboldt sur les volcans en général, parce qu'elles nous fourniront quelques données utiles à la théorie électro-chimique du globe.

Les volcans enflammés paraissent être l'effet d'une communication permanente entre l'intérieur de la terre en fusion et l'atmosphère. Sur la crête des Cordilières du nouveau monde, comme dans le sud de l'Europe et dans l'ouest de l'Asie, il existe une liaison intime entre l'action chimique des volcans proprement dits, qui produisent des roches, parce que leur forme et leur position permettent une issue plus facile aux matières en fusion, et celle des volcans de boue en général, lançant d'abord des blocs, des flammes et des vapeurs acides, puis vomissant plus tard des argiles boueuses, du naphte, de l'hydrogène mêlé d'acide carbonique et de l'azote très-pur. L'action des volcans manifeste cette même liaison avec la formation, tantôt lente, tantôt brusque, des bancs de gypse et de sel gemme anhydre qui renferment du pétrole, de l'hydrogène condensé, du fer sulfuré, et quelquefois des masses considérables de galène, comme au Rio-Hualaga, à l'est des Andes du Pérou. Elle la manifeste encore avec l'origine des sources thermales, le groupement des métaux, déposés à diverses époques de haut

en bas dans les filons, dans les amas et dans les roches altérées qui avoisinent les crevasses métallifères; enfin avec les tremblements de terre, dont les effets ne sont pas toujours dynamiques, mais qui sont accompagnés quelquefois de phénomènes chimiques, et avec les soulèvements instantanés et très-lents que l'on aperçoit après de longues périodes sur quelques parties de la surface du globe.

L'analogie de faits actuels bien observés avec des faits anciens nous permet de concevoir ce qui s'est passé à des époques reculées, qui ont précédé les temps historiques. Cette action du dedans au dehors est aujourd'hui très-affaiblie et ne produit des roches qu'autour de petites ouvertures circulaires, ou sur des crevasses longitudinales de peu d'étendue; elle ne manifeste non plus sa puissance intérieure à de grandes distances qu'en ébranlant la croûte de notre globe dans des directions qui restent les mêmes pendant un grand nombre de siècles.

On voit donc que l'époque des grandes révolutions géognostiques était celle où les communications entre l'intérieur et l'extérieur du globe étaient plus fréquentes et en même temps plus nombreuses qu'elles ne le sont maintenant, et où la tendance a établir ces communications a fait soulever à différents âges et dans diverses directions les chaînes de montagnes qui recouvrent maintenant la surface du globe.

§ V. *Des effets électriques qui ont accompagné et accompagnent encore les phénomènes géologiques.*

1205. Dans les premiers âges du monde, les actions chimiques qui avaient lieu entre les couches de la terre, qui se déposaient successivement, étaient uniformément réparties autour du noyau primitif. Les effets électriques qui accompagnaient ces actions devaient être tumultueux, c'est-à-dire que toutes les fois que quelques-unes des substances formées n'entraient pas en vapeur, il y avait recomposition immédiate des deux électricités dé-

gagées dans les points mêmes où la réaction chimique s'effectuait. Mais lorsque plusieurs de ces substances se gazéifiaient, elles emportaient avec elles une des deux électricités dont l'espèce dépendait de la nature de ces substances. La foudre devait sillonner alors continuellement les amas de vapeurs qui entouraient le noyau primitif, absolument comme dans les éruptions volcaniques où il arrive fréquemment que les vapeurs aqueuses qui se condensent par le froid des régions supérieures, retombent en pluies abondantes, accompagnées de coups de tonnerre.

Les courants électriques devaient alors être peu sensibles, parce que leur production exige la présence d'un troisième corps inerte, en contact avec deux autres qui réagissent chimiquement l'un sur l'autre.

Mais lorsqu'il est arrivé que deux couches contiguës n'exerçaient aucune action l'une sur l'autre, et que celle qui était au-dessus pénétrait par des fissures jusqu'à une couche attaquable, il a dû se produire des courants électriques, toutes les fois que les couches intermédiaires étaient conductrices de l'électricité.

Des effets semblables auront eu lieu quand, par suite de boursouflements de la croûte et du refroidissement, des vides se sont formés entre les diverses couches déjà déposées, lesquels auront été remplis de liquides ou d'autres corps conducteurs.

1206. Nous avons vu précédemment qu'il existe dans tous les pays à volcans une communication permanente entre l'intérieur de la terre et sa surface, au moyen de nombreuses fissures par lesquelles s'infiltrent les eaux de la mer qui vont réagir, soit sur les métaux des terres et des alcalis, soit sur les chlorures métalliques, et d'où résultent des effets électriques tels, que les métaux prennent l'électricité négative, la vapeur d'eau et les gaz l'électricité positive. Une partie de cette dernière électricité est apportée dans l'atmosphère par les déjections volcaniques, l'autre tend à se combiner avec l'électricité négative des bases, en suivant tous les corps conducteurs

qui établissent la communication entre les métaux ou leurs chlorures et les substances solides, liquides et gazeuses qui remplissent les fissures. On conçoit dès lors qu'il doit circuler dans l'intérieur du globe une foule de courants électriques partiels, qui produisent des réactions électro-chimiques, dont nous ne pouvons apprécier toute l'étendue, mais qui bien certainement donnent naissance à de nombreux composés.

Tout porte donc à croire qu'il existe dans la terre, jusqu'à une certaine profondeur, une multitude de courants électriques dirigés dans toutes sortes de sens, et dont la résultante doit exercer une action sur l'aiguille aimantée. Peut-être cette résultante est-elle la cause du magnétisme terrestre; c'est une question que nous discuterons plus en détail en traitant des phénomènes du magnétisme du globe.

Ce ne sont pas là de simples conjectures, mais bien des conséquences rigoureuses de faits bien constatés, puisque nous savons que les vapeurs qui sortent des cratères dans les éruptions, apportent avec elles une quantité suffisante d'électricité pour que la foudre gronde quand ces vapeurs se résolvent en pluie.

1207. Voyons maintenant si d'autres causes que des réactions chimiques ne donneraient pas naissance aussi à des courants électriques terrestres.

On a dit que le mouvement de rotation qu'éprouve la terre pouvait faire naître des courants: on s'appuyait pour cela sur l'action que l'aiguille aimantée éprouve de la part d'un disque tournant; mais cet effet ne peut s'appliquer au cas du globe terrestre, attendu que l'aiguille participe à son mouvement propre et qu'elle est par rapport à lui dans un repos relatif.

1208. On a avancé aussi que l'accroissement régulier de la température, en pénétrant dans la terre, indique l'état croissant de la chaleur au centre, et qu'il doit exister dès lors dans la croûte de la terre des courants thermo-électriques, produits par la différence de température entre les points de cette surface que réchauffe le soleil

et ceux qu'il n'a pas encore échauffés. Mais on ne conçoit pas comment une différence de température aussi faible, jointe à une conductibilité aussi mauvaise pour la chaleur ou l'électricité que celle de la plupart des corps qui forment la surface, pourrait transmettre les courants. Dans l'état actuel des choses, on est donc forcé d'avoir recours à une origine électro-chimique pour expliquer l'existence des courants électriques qui sont censés produire le magnétisme terrestre.

§ VI. *Des tentatives faites pour reconnaître les courants électriques existant dans les filons.*

1209. Les courants électriques peuvent être rendus sensibles à nos yeux, quand ils circulent dans des corps conducteurs, au moyen de l'aiguille aimantée placée dans leur sphère d'activité, de conducteurs métalliques en communication avec un galvanomètre dont les deux extrémités communiquent avec deux portions de ces conducteurs, ou bien à l'aide d'effets électro-chimiques.

1210. S'il s'agit de constater l'existence de courants dans les filons, il faut mettre en contact deux portions du filon avec les deux extrémités du multiplicateur; mais on ne peut obtenir des effets qu'autant que ces deux portions sont formées de substances conductrices, à moins qu'elles ne possèdent chacune une charge d'électricité libre de nature contraire, dont la recomposition produit un courant instantané. Ainsi, avant de se livrer à des recherches de ce genre, il faut s'assurer si les diverses substances qui se trouvent ordinairement dans les filons, et sur lesquelles on applique les conducteurs, sont rangées parmi les corps que nous considérons comme bons conducteurs.

M. Fox, qui a fait quelques expériences à ce sujet, a déterminé la conductibilité relative d'un certain nombre de substances minérales, lorsqu'on les plonge dans l'eau ou dans différentes solutions acides et alcalines; il a formé le tableau suivant dans lequel chaque substance est né-

gative par rapport à celle qui la suit : il ne dit pas quel liquide il a employé, nous devons supposer que c'est l'eau :

Peroxide de manganèse.
Rhodium.
Aimant.
Platine.
Pyrites arsenicales.
Plombagine.
Pyrites de fer.
Cobalt arsenical.
Pyrites cuivreuses.
Cuivre rouge.
Galène.
Or natif.
Nickel cuprifère.
Cuivre vitreux.
Argent.
Cuivre.

1211. M. Fox a comparé les effets électro-chimiques de divers couples métallifères, plongés dans plusieurs dissolutions. Les résultats qu'il a obtenus en faisant usage successivement d'eau de mer et d'acide hydrochlorique étendu de 30 parties d'eau, sont consignés dans le tableau suivant : nous ferons remarquer que les résultats sont souvent modifiés, comme on devait s'y attendre, d'une manière bien marquée, suivant que les corps sont exposés plus ou moins de temps à l'action des solutions. Nous avons exposé avec trop de détails tout ce qui concerne les effets électro-chimiques produits dans cette circonstance pour que nous nous y arrêtions de nouveau.

	ZINC.		CUIVRE.		FER.		PLOMB.	
	Eau de mer.	Dissolution d'acide muriatique.	Eau de mer.	Dissolution d'acide muriatique.	Eau de mer.	Dissolution d'acide muriatique.	Eau de mer.	Dissolution d'acide muriatique.
Manganèse (cristallisé)	56°	60°	35°	45°	52°	54°	50°	56°
Aimant.....	41	58	21	29	38	48	39	47
Platine.....	21	46	1	5	61	22	15	21
Plombagine.....	52	56	23	61	48	45	42	45
Pyrites de fer.....	34	38	7	8	20	29	20	19
Pyrites de cuivre.....	49	57	36	31	43	44	45	43
Cuivre rouge.....	44	45	14	10	33	40	32	38
Galène.....	47	50	19	27	36	41	37	37
Or.....	26	38	11	14	14	30	25	24
Cuivre vitreux.....	42	51	16	24	17	25	24	32
Argent.....	56	59	22	21	47	45	44	42
Cuivre en lames.....	55	58	.....	.....	19	37	40	38

M. Fox fait observer que si l'on considère les rapports électriques des différents minerais métallifères sous un point de vue géologique, on voit que presque tous ceux qui sont associés ordinairement dans les mêmes filons s'accordent sous ce rapport que leur action voltaïque réciproque est généralement très-petite. Il en infère de là que, s'il en était autrement, les apparences de décomposition dans la même localité seraient beaucoup plus marquées et plus générales qu'elles ne le sont. Il fait observer aussi que lorsque des pyrites de cuivre et du cuivre vitreux forment une combinaison voltaïque avec de l'eau pure ou de l'eau de source, les effets électro-magnétiques sont considérables. Nous nous bornons à faire remarquer que M. Fox paraît ignorer que les effets électro-chimiques, produits dans le contact de deux corps solides et d'un liquide, dépendent uniquement des

relations chimiques de leurs parties constituantes et doivent varier fréquemment.

1212. Arrivons maintenant aux recherches du même physicien sur les propriétés électro-magnétiques des veines métallifères de Cornouailles, dont il s'occupe depuis six ans.

L'appareil dont il a fait usage pour étudier ces propriétés, se compose de petites plaques de cuivre fixées au moyen de clous de fer sur les parties des veines soumises à l'expérience ou pressées fortement par des étais de bois et mises en communication avec les deux extrémités du fil d'un multiplicateur à fil court et à aiguilles non compensées.

M. Fox dit avoir reconnu avec cet appareil les effets suivants : L'intensité du courant varie suivant les localités ; tantôt la déviation de l'aiguille aimantée est faible, tantôt elle est très-considérable ; en général, elle est d'autant plus grande que la veine renferme une plus grande quantité de cuivre, et peut-être même en raison de la profondeur des stations. Il ajoute que l'action est nulle ou à peine sensible, selon qu'il y a absence ou peu de substances métalliques. Lorsqu'il n'existe qu'une distance de quelques brasses entre les plaques, dans une direction horizontale, et qu'il se trouve entre elles une grande quantité de cuivre, non interrompue par des substances non conductrices, il n'y a aucune action ; mais s'il se trouve par hasard dans la veine du quartz ou de l'argile, l'action est ordinairement bien marquée.

Quand les deux plaques sont placées à diverses profondeurs dans la même veine ou dans des veines différentes, l'action électrique est en général très-marquée ; les courants sont dirigés tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. En comparant des veines parallèles, il a cru remarquer que l'électricité positive se dirige du nord au sud, quoiqu'il ait observé le contraire dans quelques cas. Dans des veines dirigées vers le nord, l'est est ordinairement positif et l'ouest négatif. Il a trouvé, en comparant l'état relatif des veines à différentes profondeurs, que les stations inférieures paraissent négatives

par rapport à celles d'en haut. Cependant il a trouvé dans quelques cas des exceptions, surtout quand une veine transversale de quartz ou d'argile est interposée entre les plaques. Il n'y a donc aucune marche régulière dans la direction des courants.

1213. Si réellement il y avait augmentation progressive d'électricité négative à mesure que l'on descend dans les mines, ce phénomène serait en rapport avec l'accroissement progressif de température. Les effets électriques ne sont influencés, suivant lui, ni par la présence des travailleurs et des lumières, ni par l'explosion de la poudre à canon, etc.

1214. Toutes les substances qui font partie des veines métalliques sont loin de posséder la conductibilité nécessaire pour laisser passer des courants transmis par les parties métalliques. Il range, comme nous l'avons vu, parmi les conducteurs la mine de nickel cuprifère, le sulfure jaune et vitreux du même métal, le sulfure de fer, les pyrites arsenicales, le sulfure de plomb, le cobalt arsenical, le peroxide de manganèse cristallisé, le falerz; parmi les non-conducteurs, il place les sulfures d'argent, de mercure, d'antimoine, de bismuth, d'arsenic (réalgar), de manganèse et de zinc, les combinaisons des métaux avec l'oxigène et les acides.

1215. M. Fox assure avoir reconnu que les roches de Cornouailles, les couches d'argile du Killas paraissent posséder la propriété de conduire l'électricité libre à un faible degré, mais seulement dans le sens de leur clivage. Cet effet ne peut être attribué qu'à l'eau interposée.

Relativement aux propriétés électriques des veines métalliques, il fait observer que les substances qui conduisent l'électricité ont généralement, du moins dans ce comté, des substances non conductrices interposées dans les veines, entre la substance et la surface. Il cite les veines d'étain, qui sont ordinairement entrecoupées par celles de cuivre. Quand elles ne coïncident pas dans leur direction horizontale, les veines conductrices traversent celles qui ne le sont pas.

1216. M. Henwood qui s'est occupé, après M. Fox, des

courants électriques observés dans les mines de Cornouailles, a annoncé que les veines dont elles se composent traversent le granite et les roches de mica; qu'elles sont formées principalement de quartz avec d'autres terres mêlées en plusieurs endroits de cuivre, de pyrites de fer, de cuivre vitreux, d'oxide d'étain, de blende de galène avec des mélanges, en petite quantité, de cuivre natif, de protoxide et de carbonate de même métal et de sels à base de plomb.

Dans les plus grandes profondeurs où l'on soit parvenu, les rochers de mica ont une température de 2 ou 3° de plus que le granite au même niveau.

Dans plusieurs des mines, même à de grandes profondeurs, l'eau renferme des sels en quantités variables; entre autres, des chlorures de calcium, de sodium, de magnésium, etc.

M. Henwood a fait usage du même mode d'expérimentation que nous avons décrit plus haut. Les plaques métalliques étaient placées à des distances qui variaient depuis quelques pieds jusqu'à plusieurs centaines de pieds, au même niveau ou à des niveaux très-différents.

1217. Les résultats ont été les mêmes, quelles que fussent les directions des veines. Dans celles qui ne produisent que de l'étain, et dont plusieurs sont en contact avec le cuivre, on n'aperçut aucune trace de courant, excepté dans quelques cas où l'espace intermédiaire était rempli d'un riche minerai de cuivre. La présence de l'électricité était plus marquée quand la veine renfermait des pyrites cuivreuses, du cuivre vitreux, du cuivre noir, de la galène et de la blende; elle était inappréciable lorsqu'il n'existait pas de parties métalliques. On a trouvé des veines renfermant des pyrites cuivreuses, du cuivre gris et de la galène; d'autres du carbonate et du phosphate de plomb, du cuivre gris, qui n'indiquaient aucune trace d'électricité.

Il paraît que MM. Fox et Henwood n'ont pas remarqué de rapports entre la direction des veines et celle des courants. Nous rapportons ici le tableau des résultats qu'ils ont obtenus dans un grand nombre d'expériences:

DIRECTION de la veine.	INCLINAISON.	DIRECTION du courant électrique et nombre des observations.	
Est et Ouest.....	... Nord.....	Est à l'Ouest.....	18
Idem.....	... Idem.....	Ouest à l'Est.....	6
Idem.....	... Sud.....	Est à l'Ouest.....	1
Idem.....	... Idem.....	Ouest à l'Est.....	35
Nord-Ouest et Sud-Est..	... Sud-Ouest.....	Nord-Ouest et Sud-Est.	1
Idem.....	... Idem.....	Sud-Est à Nord-Ouest.	8
Nord et Sud.....	... Est.....	Nord au Sud.....	1
Idem.....	... Idem.....	Sud du Nord.....	3
Idem.....	... Ouest.....	Nord au Sud.....	1

Dans les expériences où l'on a mis en communication des parties métallifères à différentes profondeurs, les courants ont été dirigés treize fois de bas en haut et trente-cinq de haut en bas.

Dans trente-six expériences, le courant a été dirigé vers le granite; dans vingt et une la direction a été dans le sens opposé.

1218. Nous ignorons si MM. Fox et Henwood, dans leurs expériences, se sont mis en garde contre toutes les causes d'erreur qui se présentent quand on cherche à constater l'existence de courants électro-chimiques au moyen du multiplicateur. Les résultats qu'ils ont annoncés sont d'une si grande importance pour les réactions électro-chimiques qui s'opèrent dans les filons que nous devons les discuter.

Pour mettre à même le lecteur de juger et d'apprécier l'exactitude du procédé dont M. Fox a fait usage, nous lui rappellerons que lorsque deux lames de platine, en communication avec les deux bouts d'un fil du multiplicateur, sont mises en contact même avec de l'eau distillée, il se produit aussitôt un courant dû à la différence des actions que l'eau exerce sur les corps étrangers adhérents à la surface de chacune des lames. Cet effet a lieu pres-

que toujours quand on ne prend pas la précaution d'enlever les corps étrangers qui adhèrent aux surfaces de platine quand on les retire de l'eau. Si l'on emploie, au lieu de platine, du cuivre, le courant est encore bien plus marqué, attendu que les surfaces n'étant pas parfaitement identiques, l'eau ne les attaque pas également.

Or, M. Fox, dans ses expériences, a fait usage de plaques de cuivre qu'il appliquait sur les veines métallifères, au moyen de clous de fer, ou qu'il pressait fortement au moyen d'étais de bois. Ces deux plaques étaient mises en communication avec un multiplicateur au moyen d'un fil de cuivre.

Ne pouvait-il pas se faire que l'eau qui adhère plus ou moins aux parois des galeries de mine et qui ne contient pas partout les mêmes sels, se comportât par rapport aux plaques de cuivre comme elle le fait dans l'expérience précédente? Il serait à désirer que M. Fox opérât sur des parois parfaitement sèches, conductrices de l'électricité; alors les objections que nous venons de faire tomberaient d'elles-mêmes.

A la vérité, M. Fox, qui a opéré alternativement avec des plaques de cuivre et des plaques de zinc, a observé, dans les deux cas, des courants dirigés dans le même sens : ce résultat est déjà favorable à son opinion, mais il ne suffit pas pour démontrer complétement le fait.

1219. Pour montrer le rôle qu'ont pu jouer et que jouent encore les courants électriques dans les gîtes métallifères, quelques personnes ont avancé, dans ces derniers temps, que les filons avaient été remplis par l'action de courants électriques; mais il suffit d'avoir étudié le mode de remplissage de ces gîtes métallifères pour rejeter une semblable théorie.

Les filons, comme on sait, sont des fentes qui existent dans la plupart des roches composant la croûte de notre globe, et qui sont remplies de substances métalliques ou pierreuses. Les opinions sont partagées sur le mode de remplissage : les uns prétendent que les fentes ont été remplies par voie ignée, d'autres par voie aqueuse; Werner

a soutenu cette dernière doctrine. Suivant ce célèbre géologue, la masse des montagnes a d'abord été meuble et humide, puis en s'affaissant et se desséchant, il s'est formé des fentes qui ont été remplies par en haut par voie de dissolution; mais comme il existe des filons qui paraissent avoir été remplis par en bas, il faut donc admettre le remplissage par sublimation. Hutton, qui est le chef des partisans de la voie ignée, pensait que la chaleur intérieure de la terre était assez considérable pour fondre et réduire en vapeurs les métaux et les terres, qui, en raison de leur force expansive, ont produit des fentes dans les parois solides de la croûte du globe, par où elles se sont échappées, et en se solidifiant ont ainsi donné naissance à des roches cristallisées; c'est ainsi, suivant lui, qu'ont été formés les grands filons de basalte qui traversent les terrains de toutes les époques.

D'après cette manière de voir, les filons ont été ouverts par soulèvement et remplis de bas en haut par sublimation, et de haut en bas par des matières qui ont été détruites et enlevées de la surface du globe par des causes quelconques, et qui sont restées intactes dans les filons.

1220. Tous les faits observés jusqu'ici portent à croire que l'on ne peut admettre l'une de ces hypothèses à l'exclusion de l'autre, attendu que chacune des causes supposées peut avoir concouru, suivant les circonstances, au remplissage des diverses sortes de filons. Les géologues regardent comme certain que les filons qui renferment des débris de roches constituant les assises supérieures des terrains qu'ils traversent et des corps organisés, ont été remplis par leurs ouvertures supérieures; mais il n'en est plus de même pour les filons dont les salbandes et les épontes sont intimement liés ensemble. Dans ce cas, on est obligé de supposer que la formation de la roche, celle du filon et son remplissage ont été presque contemporains. D'un autre côté, quand on voit des amas cristallisés de diverses substances au milieu de roches également cristallisées, enveloppées de toutes parts par elles, de manière à ce que l'on ne puisse dire qu'ils aient

été introduits dans les cavités qu'ils remplissent, ni par en haut ni par en bas, on est porté alors à considérer quelquefois le filon comme une fente ouverte au milieu d'un magma cristallin, pénétré encore de la dissolution en état de précipitation et déposant dans cet espace, moins saturé ou moins épais, des parties d'une structure et d'une nature un peu différentes de celles du reste de la roche. Il est un autre mode de remplissage, c'est celui qui a constitué les filons qui renferment des sulfures métalliques déposés en houppes cristallines sur toutes les parties du filon en saillie et des corps décomposables dans toute dissolution aqueuse, tels que les sulfures, les arséniures métalliques, qui ne peuvent supporter une température élevée sans voir leurs parties constituantes séparées, à moins d'admettre l'action d'une pression considérable.

On voit donc qu'il est à peu près certain que les filons n'ont pas été produits par une cause unique et générale, et que plusieurs causes ont quelquefois concouru à leur formation.

1221. D'après l'exposé rapide que nous venons de présenter de l'état de nos connaissances sur la constitution des filons, il est impossible d'admettre que les fissures, qui se sont ouvertes à diverses époques dans les roches, ont été remplies par des substances transportées par les courants électriques terrestres, attendu que ces courants n'exercent des actions chimiques que là où il existe des corps conducteurs solides et liquides capables de réagir les uns sur les autres; or, les roches ne conduisant pas l'électricité, et les corps solides ne pouvant être que des composés métalliques qui n'existaient pas à l'époque où les fentes ont été formées, il faut donc admettre que des causes autres que les courants électriques ont rempli ces fentes. Le remplissage une fois effectué, en totalité ou en partie, et les eaux arrivant des roches environnantes, c'est alors que les forces électriques ont pu intervenir pour opérer des décompositions et donner naissance à de nouveaux composés; c'est ce dont nous allons nous occuper dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II.

DE LA DÉCOMPOSITION DES ROCHES.

§ 1er. *Considérations générales.*

1222. L'Altération que les roches éprouvent avec le temps avait déjà attiré l'attention de Werner. Ce célèbre géognoste avait remarqué que, dans plusieurs filons, la roche qui en forme le toit et le mur est altérée et décomposée, effet qui a lieu particulièrement dans les montagnes de gneiss, de micaschiste, de porphyre, etc. La décomposition porte ordinairement sur le feldspath, l'amphibole et le mica, et jamais sur le quartz. Cette altération, qui pénètre quelquefois jusqu'à une profondeur de deux mètres dans la roche, a lieu particulièrerement là où le minerai est chargé de soufre. Il a remarqué aussi que la partie altérée de la roche conserve souvent intactes ses parties intégrantes, de sorte qu'il n'y a que destruction de l'attraction moléculaire.

Werner attribue ce genre de décomposition, soit à l'action de l'acide carbonique de l'air sur le feldspath du granite et du gneiss, qui se change en kaolin, soit à l'action du sulfate de fer provenant des pyrites sur le feldspath, le mica et même l'amphibole.

La masse des filons, ou du moins plusieurs des substances qu'ils renferment, éprouvent en général une décomposition plus ou moins complète, soit par la réaction des sels tenus en dissolution dans les eaux qui s'y introduisent, soit par l'action de l'air atmosphérique et

de plusieurs causes dont nous avons déjà parlé dans le cours de cet ouvrage et sur lesquelles nous reviendrons dans un instant. Il résulte de ces diverses réactions un grand nombre de composés nouveaux, particulièrement des sulfates, des arseniates, des arseniures, des silicates, des ocres, des oxides métalliques, etc.

§ II. *Des décompositions des granites.*

1223. Le granite étant une des roches les plus répandues sur le globe, nous devons nous occuper d'abord de son altération. La cause qui la détermine est encore enveloppée pour nous d'un profond mystère, car elle est propre à certaines localités, surtout à celles où il se trouve des produits volcaniques, tandis qu'elle n'a pas lieu dans un grand nombre de localités où les roches granitiques sont restées intactes, quoique exposées depuis des siècles aux influences atmosphériques. C'est ainsi que les granites des Alpes n'éprouvent aucune altération bien sensible, tandis que les granites d'Auvergne sont tantôt intacts, tantôt en décomposition légère, tantôt en décomposition complète. Cependant, nous devons faire remarquer que l'on a observé depuis longtemps que le feldspath magnésien et calcaire résistait plus fortement à la décomposition que le feldspath à base de potasse.

1224. Le feldspath est la partie constituante du granite qui, en se décomposant, entraîne la désagrégation de la roche. Le produit de la décomposition est le kaolin; on ne peut douter que les grands amas de kaolin ne proviennent de l'altération du granite : il en a quelquefois la texture et il renferme encore du quartz et du mica qui ont résisté à l'action décomposante.

M. Berthier a prouvé que la potasse n'est pas le seul corps enlevé dans l'acte de la décomposition et qu'il s'échappe encore de la silice, c'est-à-dire que le feldspath perd un silicate de potasse et se transforme en un silicate d'alumine dans lequel les proportions de silice et d'alumine ne sont plus les mêmes que dans le feldspath.

1225. M. Fournet a étudié, pendant son séjour à Pontgibaud, la formation du kaolin dans les filons, dans les parties inférieures des basaltes et à la surface du sol. Ce kaolin provient bien des granites, gneiss et basaltes décomposés superficiellement dans leur place originaire. En suivant l'altération de ces roches, depuis la surface du sol jusqu'à une certaine profondeur, il a trouvé : 1° une zone supérieure de couleur jaune ou rouge, due à la suroxidation du fer; 2° une zone mitoyenne de couleur verte très-prononcée; 3° une zone inférieure offrant tous les caractères d'un granite intact, mais qui se désagrége complétement au moindre choc. Il a trouvé enfin au-dessous, en liaison intime avec la précédente zone, le granite solide et non altéré. On voit donc que la décomposition de ces roches a été successive et a commencé par la partie la plus voisine du sol; dès lors elle est due aux influences atmosphériques.

Nous avons eu occasion de faire des observations semblables dans le Limousin.

1226. Dans les Vosges, on a remarqué que le granite est profondément désagrégé, sur les pentes horizontales seulement, près de leur contact avec les formations secondaires. Il est probable que cet effet est dû en partie à ce que le contact du granite et des roches secondaires est accompagné de solutions de continuité plus ou moins sensibles, qui favorisent les infiltrations des eaux et par suite l'action des agents atmosphériques, suivie de réactions électro-chimiques.

M. Fournet a cherché aussi à se rendre compte de la manière dont s'opère la décomposition des granites. Il part pour cela du principe que leur masse a été successivement désagrégée par suite d'un effet de dimorphisme qui a changé leur texture cristalline. Il faut donc admettre que les parties constituantes de ces roches, lors de leur formation, se trouvaient dans un état d'équilibre instable qu'elles ont perdu peu à peu par des influences atmosphériques ou autres. Cette supposition est très-admissible, puisque nous avons déjà cité plusieurs

substances qui jouissent de cette propriété (1062).

On est assez porté, en outre, à partager cette opinion, quand on examine ce qui se passe dans les basaltes et les phonolithes. On voit d'abord une série de petites taches grises, plus ou moins rapprochées et rayonnantes, qui résultent d'une division extrême des parties et ne peuvent provenir que des effets de contraction et de dilatation, lesquels divisent ordinairement la masse sans la porphyriser. L'altération continuant toujours, la masse se divise en une multitude de fissures, dirigées ordinairement suivant trois plans rectangulaires qui déterminent une désagrégation totale cuboïde, ou plutôt sphérique, par l'émoussement des angles. L'exfoliation, par couches concentriques, survient après par suite du gonflement de la masse. L'état de désagrégation des diverses parties qui se détachent est tel que les agents chimiques, qui se trouvent dans l'air ou à la surface de la terre, les attaquent facilement et les convertissent en un corps argiloïde coloré par le fer.

Au surplus, il n'est pas invraisemblable que les molécules des roches d'origine ignée prennent, à l'instant de leur solidification, un état d'équilibre instable qui se perd peu à peu pour faire place à un autre plus stable qui change la structure même des corps, puisque M. Gustave Rose a trouvé un dimorphisme dans les pyroxènes et les amphiboles, selon que l'on soumet ces substances à un refroidissement brusque ou à un refroidissement lent, et dans l'acide arsenieux vitreux récemment sublimé, qui éprouve avec le temps et peu à peu une opacité complète en perdant de sa densité et acquérant plus de solubilité dans l'eau.

D'un autre côté, ne sait-on pas que les pyrites cristallisent sous deux formes, l'une cubique, l'autre prismatique. La forme prismatique ne serait-elle pas une forme instable, attendu qu'elle est sujette à l'efflorescence, tandis que la première serait la forme stable, puisqu'elle résiste mieux à la décomposition? En Auvergne, on a rencontré des masses d'arragonite qui se désagré-

gent spontanément sans décomposition ultérieure. Le grenat et l'idocrase, dont la composition chimique est la même, cristallisent sous deux formes différentes. Le grenat paraît être la forme instable, puisqu'il se décompose dans quelques localités; l'idocrase, au contraire, n'éprouvant jamais de décomposition, est la forme stable.

La désagrégation une fois effectuée, le fer s'oxide graduellement en passant à l'état de protoxide incolore, d'oxide vert intermédiaire et de peroxide hydraté.

Nous rappellerons, à ce sujet, les observations déjà rapportées (1036), savoir, que lorsque l'attraction moléculaire est détruite, il y a déjà commencement de décomposition. Ainsi, en admettant la désagrégation, supposition très-admissible, les particules des corps recouvrent momentanément leurs facultés électriques propres, qui les rendent plus aptes à réagir sur les substances tenues en dissolution dans l'eau qui les mouille.

Ne perdons jamais de vue que lorsque les états électriques des particules des corps changent, ces particules se trouvent dans l'état le plus favorable pour réagir sur les corps environnants, attendu qu'il se forme une infinité de petits couples voltaïques, qui produisent des décompositions électro-chimiques.

1227. Nous ferons remarquer, d'un autre côté, que l'on a observé depuis longtemps que lorsque le petunzé commence à s'altérer, sa surface prend une teinte légèrement rosée et acquiert en même temps une faible saveur saline qui ne se manifeste plus quand l'altération est plus avancée. Mais comment l'alcali est-il mis en liberté? Il faut nécessairement qu'un acide plus puissant que la silice le déplace de sa combinaison avec cette terre. L'acide carbonique se présente naturellement à l'esprit pour opérer cette réaction, attendu qu'il existe dans l'atmosphère et dans l'eau, et qu'il est absorbé et condensé facilement par elle et les corps poreux, ce qui lui permet d'agir avec plus d'efficacité encore. Or, puisque le petunzé perd un silicate de potasse, il faut que la silice soit mise en liberté à un état gélatineux qui lui

permet de se dissoudre en certaine quantité dans les eaux et dans les carbonates alcalins. Cette silice, entraînée par ces dissolutions, donne naissance à des cristaux de quartz hyalin, à des fiorites, des agates, des opales, des concrétions de calcédoine, à des silicates de nouvelle formation, tels que des mésotypes, des chabasies.

1228. Voici plusieurs exemples qui prouvent que l'acide carbonique, en dissolution dans les eaux, est capable d'exercer des réactions énergiques dont on ne se fait pas toujours une idée nette, quand on ne s'occupe pas des actions lentes:

Dans la vallée de Châtel-Guyon, en Auvergne, les nombreuses sources d'eaux minérales, chargées de gaz acide carbonique, qui s'échappent de toutes les fissures du granite, exercent une action dissolvante telle qu'elles creusent cette roche et y forment de petits bassins irréguliers qu'elles remplissent de fer hydraté.

Dans un des filons de Pontgibaud, comme nous l'avons déjà vu, une explosion de poudre fit sortir un jet d'eau très-violent, chargé de gaz acide carbonique fortement condensé. L'eau, dans les premiers moments, était surchargée d'une matière argileuse blanche, tenue en suspension. Cette eau avait traversé une masse de baryte sulfatée qui était altérée sur une certaine épaisseur à un tel point que la forme cristalline de la baryte était mise à nu comme dans le moiré métallique. Ces mêmes eaux avaient attaqué aussi des fragments de stéachiste empâtés dans le feldspath. L'altération était si complète qu'il ne restait plus que les grains quartzeux et les lamelles talqueuses.

Les eaux vitrioliques, en agissant sur le feldspath et autres roches ignées, peuvent aussi donner naissance à des hydro-silicates d'alumine.

1229. Enfin, pour mettre dans tout son jour l'influence que peuvent exercer des eaux chargées d'acide carbonique sur les silicates, de manière à amener leur décomposition, nous rappellerons l'expérience déjà citée (1168) qui nous paraît assez décisive. Si l'on met dans une éprouvette du silicate de cuivre nouvellement préparé,

qu'on verse dessus de l'eau distillée, et qu'on plonge dedans une lame de zinc décapée, la lame de zinc, dans toute sa longueur, se recouvre d'une couche de couleur bleu foncé sur laquelle se déposent çà et là des petits grains cristallins brillants, puis un peu de silice gélatineuse. La substance bleu foncé est un mélange de cuivre carbonaté bleu, de deutoxide de cuivre anhydre, et d'une très-petite quantité de cuivre métallique.

Le grains cristallins ne sont autres que du carbonate de zinc.

Ces effets sont dus à la présence du gaz acide carbonique de l'air qui est dissous dans l'eau, lequel dissout le silicate de cuivre, puisque la réaction s'effectue dans toute la longueur de la lame de zinc.

Nous croyons que, dans ce cas, l'acide carbonique déplace la silice. Dans la nature, il n'existe pas, à la vérité, de zinc métallique, mais rien ne s'oppose à ce qu'une substance organique, comme on en trouve presque toujours dans les eaux minérales, ne remplace avantageusement le zinc dans les réactions que nous venons de faire connaître. Il est probable que d'autres silicates jouissent de propriétés analogues. Ainsi la théorie que nous venons de présenter de la décomposition des granites est fondée sur des faits qui ne peuvent manquer de lui donner de la force.

§ III. *De l'altération des laves, et des produits qui s'y forment.*

1230. Après avoir parlé de la décomposition des granites, nous devons dire quelque chose de la décomposition des roches volcaniques anciennes et modernes qui sont à base de feldspath.

On a observé, à la Chaussée-des-Géants, que le calcaire qui est en contact avec le basalte a une cassure brillante, une dureté plus grande et une pesanteur spécifique qui a sensiblement augmenté; du reste, aucun changement dans la composition.

Il s'ensuit que le basalte, lors de sa formation, quand il était à l'état liquide et possédant alors une température très-élevée, a modifié le mode d'agrégation du calcaire sans changer ses parties constituantes et même sans lui enlever son eau. C'est un effet de ce genre que Hall a obtenu en soumettant dans l'eau un morceau de craie à une température élevée sous une forte pression. La craie s'est changée en chaux carbonatée à grains cristallins.

1231. Le granite qui se trouve dans le voisinage des filons de basalte a éprouvé aussi une décomposition, comme on en a des exemples dans les îles d'Écosse et aux environs de Clermont.

Les schistes argileux qui sont en contact avec le basalte ont été changés en schiste siliceux : les substances métalliques ont été sublimées, l'argile fondue, etc.

Les laves ne se décomposent pas toutes sous l'influence des agents atmosphériques; celles des volcans éteints restent la plupart intactes, leurs surfaces sont telles qu'elles étaient lors de l'irruption : nous en avons la preuve dans la plupart des laves de l'Auvergne et du Vivarais. Il n'en est pas de même des laves du Vésuve, qui se décomposent assez rapidement et dont les parties constituantes sont rendues à la végétation. Cette différence dans les effets produits provient de causes qui ne sont pas encore toutes connues. Nous savons seulement que la nature des laves exerce à la vérité une influence sur le phénomène, puisqu'en Auvergne les laves à base de pyroxène se décomposent plus vite que les laves labradoriques.

1232. La wake, qui provient d'un sédiment boueux, [illegible]téresse, parce qu'elle renferme ordinairement des [illegible] parties cristallines de calcaire, des cristaux ap[illegible] à la famille des zéolithes, et en outre des mi[illegible]ngagés, qui ont été formés avant sa production. [illegible]che se trouve encore dans d'autres localités, où [illegible]e des filons qui renferment diverses substances [illegible]ues.

En examinant la manière d'être des cristaux qui se trouvent au milieu des roches basaltiques et autres analogues, qui sont souvent homogènes et très-denses, on est porté à croire qu'ils se sont formés après la consolidation de la masse et un refroidissement suffisant, puisque la plupart d'entre eux sont altérés par une chaleur incandescente et renferment de l'eau de cristallisation, qui peut être enlevée par une température peu élevée. Il est probable que ces produits ont été formés par une des causes précédemment indiquées.

CHAPITRE III.

DES RÉACTIONS CHIMIQUES OBSERVÉES DANS LES FILONS.

§ Ier. *Aperçu général des altérations.*

1233. Quiconque a visité des galeries de mines et a étudié la constitution des filons, ne peut s'empêcher de reconnaître qu'en général les parties les plus rapprochées de la surface du sol sont dans un état de décomposition que l'on ne retrouve pas dans les parties inférieures. De même les portions qui sont en contact avec une roche perméable à l'eau, qui peut les mettre en communication avec les agents atmosphériques, éprouvent des changements semblables. On observe des effets de ce genre dans beaucoup de roches. Il n'est donc pas permis de douter que les agents atmosphériques n'exercent une grande influence sur les décompositions chimiques qui ont lieu dans l'intérieur de la terre, indépendamment de l'action des forces électriques dont il sera question plus loin. Les exemples suivants sont assez saillants pour prouver l'exactitude de ce que nous venons d'avancer.

1234. En général, dans les filons de galène, les carbonates, ainsi que les oxides, les hydrates et les composés salins, occupent les parties du filon les plus voisines des agents atmosphériques, ou celles qui sont en rapport avec des substances argileuses ou roches fendillées qui laissent facilement passer les eaux. Ainsi, il n'est pas permis de douter que le sulfure n'ait été oxidé par l'influence prolongée des eaux pluviales. On peut se rendre compte de

cet effet en exposant à l'air une masse bocardée de galène, comme l'a observé M. Fournet; on ne tarde pas à sentir une odeur de gaz sulfureux, qui est surtout très-marquée lorsque, après une pluie, le soleil y projette ses rayons. Pendant ce grillage naturel le plomb s'oxide, ainsi que le soufre; il se forme, d'une part, du carbonate et, de l'autre, du sulfate en quantités assez grandes pour produire des pertes notables au bout d'un certain temps. Dans la terre, des effets semblables s'effectuent, et comme l'action est très-lente, on obtient des cristaux de sulfo-carbonate.

La formation du plomb noir provient d'une cause semblable à celle que nous venons de signaler.

Suivant M. Fournet, qui a donné la théorie de la formation de ce composé, on doit admettre qu'une partie de la galène n'a pas été complétement attaquée, puisque l'on peut séparer par les acides faibles les lamelles brillantes des cristaux déjà cariés. D'un autre côté, comme il y a peu de galènes qui ne soient argentifères, on est porté à admettre que ce dernier métal, qui est très-peu oxidable, a dû résister aux actions atmosphériques et doit se trouver disséminé, ou à l'état métallique ou de sulfure, dans le carbonate de nouvelle formation qui prend alors une couleur noire. Ce qui tend à confirmer cette manière de voir, c'est que le carbonate blanc est rarement argentifère, tandis que le carbonate noir l'est toujours.

La décomposition graduelle du fer spathique dans son gisement est due également aux influences atmosphériques. A Vizille, département de l'Isère, où il existe de grands amas de cette substance, on a établi des galeries, les unes au-dessus des autres, et l'on a reconnu alors que la décomposition est d'autant plus grande que le minerai est plus rapproché du sol, c'est-à-dire qu'il éprouve davantage l'action de l'air, de l'eau et des agents atmosphériques. Les mineurs ont reconnu en outre qu'à une certaine profondeur dans la terre, le minerai n'est pas altéré. Cette marche graduelle de son altération est surtout remarquable à la mine du Vent, qui est

exploitée presque à fleur de terre. La partie supérieure est devenue tout à fait terreuse, et ne paraît renfermer que de l'hydroxide de fer. Dans le Dauphiné, particulièrement à Allevard, on voit apparaître quelquefois au-dessus des terrains qui renferment du fer spathique des flammes qui portent le nom d'essorements. Ce phénomène a été observé par un si grand nombre de personnes, que nous croyons devoir en faire mention ici, en le décrivant tel qu'on nous l'a rapporté, sans en garantir autrement l'authenticité : la hauteur de ces flammes est quelquefois considérable; là où elles se montrent, on aperçoit des fissures, et si le phénomène se produit dans l'hiver, la neige est fondue à l'entour. En pénétrant dans le sol, on reconnaît que le minerai est fortement altéré : aussi les habitants d'Allevard regardent-ils la présence de ces flammes comme un indice d'un gîte riche en fer spathique.

Le minerai décomposé renferme toujours des carbonates de manganèse et de magnésie en diverses proportions, quand il est intact au contact de l'air. Quand ce minerai intact est au contact de l'air, il prend assez promptement une teinte jaunâtre ou brune par l'effet d'une décomposition, et se change en un mélange de peroxide et d'hydrate de peroxide. Il paraît, comme l'a avancé le premier M. Berthier, que le fer et le manganèse, en se suroxidant et se changeant pour la plus grande partie en hydrate, abandonnent leur acide carbonique, qui se porte sur le carbonate de magnésie et le transforme en bi-carbonate soluble que les eaux entraînent facilement.

Le résultat de la décomposition du fer spathique nous annonce donc une oxidation et une formation d'hydrate, et par conséquent la présence de l'eau; dès lors ne pourrait-on pas admettre qu'une portion de cette eau a été décomposée pour oxider le fer, et que l'hydrogène est devenu libre? Mais comme ce gaz n'a pu se dégager qu'après avoir acquis une tension suffisante pour vaincre la résistance que lui présentaient les roches adjacentes, il a dû s'accumuler dans les cavités, d'où il a fait érup-

tion ensuite à l'extérieur en brisant ces roches, et à l'instant de son contact avec l'air, il aura pu s'enflammer, à la manière des météores qui voltigent quelquefois à la surface de la terre, dans certaines localités.

Les gangues ordinaires du fer spathique sont le quartz, la barite sulfatée; il est accompagné de fragments de diverses roches, de pyrites de fer et de cuivre, de galène, de cuivre gris, de fer oxidé magnétique, etc., qui éprouvent des effets plus ou moins marqués de la décomposition du fer spathique. Quelques exemples donneront une idée des réactions qui s'y opèrent. M. Chapert a trouvé dans une mine de fer spathique, abandonnée depuis longtemps, un morceau de bois recouvert de cuivre carbonaté vert soyeux, qui provenait indubitablement de la décomposition des pyrites cuivreuses. Dans la même localité, il a recueilli des cristaux d'arragonite, qui peuvent avoir été produits par le remaniement du carbonate de chaux.

Dans une des mines de fer d'Allemont, appelée la mine du Grand-Bois, et dont le minerai est complétement décomposé par suite des influences atmosphériques, on trouve plusieurs substances qui sont évidemment de nouvelle formation, entre autres du carbonate et du sulfate de plomb, qui ont dû être produits par la décomposition du sulfure; du sulfate de chaux cristallisé, du cuivre carbonaté vert soyeux, sur des morceaux de quartz, du fer hématite concretionné, recouvert de peroxide de manganèse d'un brillant argentin.

Nous allons maintenant passer en revue les principales observations que l'on a faites dans quelques filons où les phénomènes de décomposition sont bien marqués.

§ II. *Du filon d'Huelgoat.*

1235. Le filon d'Huelgoat en Bretagne peut être considéré comme classique par les personnes qui s'occupent des actions lentes; car il est impossible de trouver un plus grand nombre de formations modernes que dans cette localité, où l'eau ruisselle de toutes parts, et où l'on trouve par-

tout des traces de décomposition, même dans les roches encaissantes : c'est pour ce motif que nous commencerons par Huelgoat l'examen des formations minérales modernes.

Ce filon a pour roche encaissante des schistes à débris coquilliers, un porphyre quartzifère, un pouddingue porphyrique très-perméable à l'eau, des schistes alumineux et pyritifères, une brèche pyriteuse amphibolique et feldspathique, contenant des veines de carbonate de chaux, etc.

Voici un aperçu général de son état actuel : les matières et roches encaissantes sont d'autant plus altérées qu'elles sont plus rapprochées de la surface du sol. La partie supérieure du filon est composée de pacos, qui sont des quartz plus ou moins ferrifères, renfermant de l'argent métallique, du chlorure d'argent et des pyrites cuivreuses argentifères; la partie inférieure renferme principalement des galènes. Les pacos sont d'autant plus riches qu'ils sont plus rapprochés du plomb. On trouve, en partant de l'affleurement, absence totale de plomb, du chlorure d'argent, qui est plus abondant, à mesure qu'on descend; l'argent métallique se montre en plus grande quantité dans la partie inférieure. La nature des pacos varie avec celle de la roche encaissante.

En général, dans la partie qui correspond au système porphyrique, on trouve dans le filon, avec les quartz carriés, des argiles, des cuprosilicates; c'est précisément dans cette partie qu'abondent les chlorures d'argent. On y trouve aussi des concrétions d'hydrate de fer compacte, très-argentifères, renfermant quelquefois 40 pour cent d'argent.

Quant à la partie correspondante au système schisteux, on y rencontre fréquemment des pyrites, surtout celles qui sont en pâte et qui ne renferment pas ordinairement d'argent. On y trouve aussi des pacos stalactiformes de toute espèce, lesquels sont très-chargés de fer. Les pyrites argentifères sont peu abondantes, on en trouve dans tout le filon.

Les pacos renferment aussi du plomb phosphaté prismatique, entre la formation porphyrique et la formation schisteuse, mais jamais dans la partie supérieure : par conséquent ils ont été formés dans la partie inférieure à la limite de la formation des pacos. Les plombs phosphatés qu'on rencontre dans cette région sont toujours à l'état de concrétion ou de houppes soyeuses : c'est là aussi où se trouvent les plombs carbonatés et une substance gélatineuse qui remplit les géodes dans lesquelles les phosphates et les carbonates se sont déposés. Il y a très-peu de carbonate de plomb dans l'affleurement du filon; on y trouve seulement du plomb sulfaté et du sulfo-carbonate, ainsi que du plomb noir.

Au milieu des pacos, non loin des sulfo-carbonates, se montre le fer résinite dont la formation est bien réellement moderne.

Nous avons observé une substance organique résiniforme sur les parois du mur, qui semble découler d'une exploitation supérieure : tout porte à croire qu'elle provient de la décomposition des boisages.

L'alun de plume abonde au toit du filon; il provient de la décomposition d'une roche alumineuse et pyritifère, appelée roche verte, qui semble faire partie du filon; elle est constamment en décomposition partout où on la rencontre.

Les schistes pyriteux, dans les mêmes parages, donnent naissance à des sulfates de fer qui cristallisent là où il y a peu d'eau. La température, dans cette localité, est de 26 degrés centigrades, ce qui annonce de nombreuses réactions chimiques. Les eaux pénètrent rapidement au fond des travaux, en raison de la nature fendillée du filon; dans les parties supérieures, il y a peu d'infiltration, seulement la région des pacos qui correspond au système porphyrique en présente quelques-unes.

Les eaux, quand elles sortent de la roche encaissante, sont peu vitrioliques; mais elles le deviennent successivement. Elles renferment aussi beaucoup de chlorure de sodium.

On trouve du plomb gomme à la rencontre des massifs de galène et de pacos. Enfin les porphyres, dans le voisinage du filon et du jour, sont décomposés et amenés à l'état d'argile.

M. Paillette, qui a fait un séjour de plusieurs années à Huelgoat, a donné quelques vues théoriques sur les formations modernes qu'il a observées dans le principal filon de cette contrée; nous y aurons égard dans l'exposé que nous allons présenter des changements qui ont amené leur production.

On est porté à croire que dans une région qui ne dépasse pas le niveau des vallées d'érosion, le filon renfermait d'abord des pyrites de fer argentifère, du zinc sulfuré, quelques pyrites cuivreuses, une petite quantité de cuivre gris, du sulfure d'antimoine et de la galène argentifère. Au-dessous il existait comme aujourd'hui un dépôt beaucoup plus étendu de galène argentifère, de blende et de quelques pyrites ferrifères et cuivreuses.

Les eaux qui ont produit les vallées d'érosion étaient probablement plus chargées de sel marin qu'elles ne le sont maintenant, quoiqu'elles en renferment encore une quantité assez notable; elles ont pénétré dans l'intérieur du filon, en raison de la nature perméable de la roche encaissante. Ces eaux qui entraînent avec elles de l'air atmosphérique, en réagissant sur les parties constituantes du filon, ont dû produire des sulfates de fer, de cuivre, de zinc et même de plomb; de l'argent métallique a été abandonné par les pyrites et la galène. Les sulfates des métaux les plus oxidables, une fois formés, auront réagi énergiquement sur les substances environnantes, ainsi que sur les parois du filon. Or, ces parois, là où il existe le plus de pyrites, étant formées de porphyre très-feldspathique et de schiste, il en sera résulté les réactions suivantes : le feldspath perdant son silicate de potasse, une partie de l'acide sulfurique des sulfates se sera combinée avec la potasse; les eaux auront enlevé le sulfate alcalin; la silice se sera déposée en gelée sur des morceaux de

roches encaissantes, tombées dans le filon, où en se durcissant aura formé des concrétions mamelonnées ou autres qu'on y retrouve.

Les sulfates des métaux oxidables, en réagissant sur sur les phosphates et carbonates calcaires des corps organisés et des coquilles, auront donné naissance à du sulfate de chaux et à des phosphates, ainsi qu'à des carbonates de plomb, de cuivre et de zinc, qui auront été décomposés par de nouvelles réactions; il se sera déposé alors des hydrates de fer argentifère. D'un autre côté, les eaux en traversant les roches dissolvaient du sel marin et devaient comme elles le peuvent encore réagir sur plusieurs des parties constituantes du filon; car l'eau salée jouit d'une faculté dissolvante, dont on ne connaît pas encore toute l'étendue. Si cette solution est saturée, elle dissout le sulfate, le phosphate et même le sulfure de plomb qu'elle transforme en sulfate; le sulfate de plomb surtout s'y dissout en quantité assez notable. Lorsque la solution est très-étendue, la faculté dissolvante est très-faible; mais il n'en faut pas davantage pour que de semblables dissolutions, au bout d'un grand nombre de siècles, forment des dépôts de phosphate, de sulfate, de chloro-phosphate et de chloro-sulfate de plomb.

Nous ferons observer encore que, si des dissolutions de sulfate et de phosphate de plomb dans le sel marin sont mises en contact avec un métal oxidable, ou un oxide qui peut passer à un état supérieur, il en résulte des sous-sulfates, des sous-phosphates de plomb qui cristallisent. En général, les dissolutions excessivement étendues de sel marin renfermant des sels de plomb, en réagissant sur des substances oxidables et sur des substances organiques, ont pu donner naissance à des composés semblables à ceux que l'on trouve dans le filon d'Huelgoat. La solution de sel marin, en réagissant par exemple sur l'argent, a donné naissance à des doubles chlorures de sodium et d'argent qu'on retrouve aujourd'hui dans les pacos, ainsi qu'à du chlorure d'argent, puisque des pièces d'argent qui restent longtemps en

contact avec l'eau de mer se changent entièrement en chlorure et en sous-chlorure.

Si on examine des échantillons de pacos qui renferment de l'argent métallique, on voit que ce métal est tantôt sous forme de dendrites, tantôt formant des dépôts très-minces semblant indiquer une réduction du chlorure qui aura pu s'effectuer quand ce composé aura été en contact avec des corps hydrogénés, comme il s'en trouve dans cette localité.

1236. Dès l'instant que les vallées d'érosion furent devenues plus profondes, les eaux n'arrivèrent plus dans le filon qu'en moindre quantité, tandis que l'air y entrait par toutes les issues que les eaux y avaient formées : c'est probablement à cette époque qu'eut lieu la production du carbonate de plomb noir.

Les sulfates de zinc et de fer qui ne cessaient pas de se former, continuaient à réagir sur le feldspath de la roche porphyrique encaissante en enlevant le silicate de potasse. Il résultait évidemment de cette réaction, outre de la silice gélatineuse, des sulfates d'alumine et de potasse. Quand le sulfate d'alumine rencontrait du carbonate de chaux, il y avait décomposition et dépôt d'alumine hydratée.

Une autre portion de la silice gélatineuse, en se combinant dans les anfractuosités du filon avec l'alumine hydratée, formait ces masses assez considérables d'hydro-silicate d'alumine, dont les éléments ne sont pas en proportions définies. Une autre portion de l'alumine, en se combinant avec le plomb, aura produit le plomb gomme.

On ne doit pas être étonné de l'action puissante qu'a dû exercer le sulfate de fer sur la plupart des minéraux préexistants, lorsqu'on connaît la puissance dissolvante de ce sel, quand le fer est au maximum d'oxidation. Dès lors on conçoit comment ces minéraux auront été détruits pour donner naissance à d'autres composés.

Les sels ferreux, en réagissant sur le phosphate de plomb, auront donné naissance à des tubes prismatiques

de sous-phosphate de fer et à ces encroûtements de même composition qui recouvrent les cristaux de chloro-phosphate de plomb.

Le chloro-phosphate de plomb ne se sera déposé que lorsque le proto-sulfate de fer, son dissolvant, aura été saturé, c'est-à-dire, aussitôt qu'il aura rencontré des cristaux de carbonate de chaux. On aura eu alors ces chloro-phosphates de plomb mamelonnés aciculaires de diverses couleurs, tantôt purs, tantôt calcarifères, tantôt empâtant des débris de quartz.

Si, par hasard, dans la décomposition des persulfures il s'est déposé du soufre, comme cela arrive quelquefois, ce soufre se sera combiné avec une portion de l'alcali de la roche porphyrique, d'où il sera résulté des hyposulfites alcalins, puis des doubles hyposulfites alcalins et métalliques, puis par des effets électro-chimiques des sulfures métalliques qui auront produit, suivant les circonstances, des prismes de sulfure de plomb, quand la galène se sera moulée dans les vides laissés par le chloro-phosphate de plomb dissous; des petits cristaux de galène antimoniale reposant sur des galènes massives ne renfermant pas d'antimoine, des pyrites qui ont pris la place de phosphate de plomb, ou qui ont cristallisé dans des moules anciens de pyrite et de chaux carbonatée, et de la blende placée dans les mêmes circonstances que la pyrite.

Il est probable qu'à l'époque actuelle, les élaborations dont nous venons de parler continuent toujours.

Les schistes pyriteux et la brèche pyriteuse fournissent abondamment des aluns de plume et du sulfate de fer; la blende et les pyrites du filon, les sulfates de zinc et de fer. La réaction de ces sels sur la chaux carbonatée donne naissance à des cristaux de gypse, d'où résultent de l'hydrate d'alumine siliceux et du plomb carbonaté en houppes ou cristaux qui se trouvent en suspension dans les hydrates. Il se produit en même temps du phosphate de fer résinite, mélangé d'hydrate qui se dépose journellement, ainsi que des petites masses molles de phosphate de plomb.

§ III. *Des amas de minerais de cuivre de Chessy.*

1237. Les minerais de cuivre de Chessy se composent de cuivre pyriteux, de cuivre noir, de cuivre carbonaté bleu et vert, et de protoxide de cuivre.

Le cuivre pyriteux se trouve dans le terrain primitif, qui est une diabase (amphibole et feldspath); le cuivre noir, dans le terrain de transition, qui est un mélange de schiste feldspathique et de diabase; le cuivre oxidulé entre le cuivre noir et le cuivre carbonaté, dans une couche d'argile rougeâtre qui sépare le terrain de transition du grès bigarré; le cuivre carbonaté, dans le grès bigarré. On voit donc que le cuivre carbonaté se montre dans les parties les plus rapprochées du sol, là où les influences atmosphériques peuvent exercer plus facilement leur influence.

Dans le grès bigarré, on a rencontré un grand nombre de boules plus ou moins sphériques, d'une grande dureté, présentant à leur centre des vides tapissés de cristaux de carbonate bleu de cuivre et renfermant de l'eau; ce qui fait présumer que ces cristaux ont eu une origine aqueuse.

1238. Nous allons passer en revue quelques-unes des décompositions et des formations modernes que l'on a observées dans les mines de cuivre de Chessy près de Lyon.

Lorsque la pyrite cuivreuse commence à se décomposer, elle donne naissance à la mine noire, qui est un mélange de sulfure et d'oxide, et l'on obtient du sulfate de cuivre et de fer qui est entraîné par les eaux. On trouve quelquefois de ce double sulfate cristallisé. Ces sulfates, en réagissant sur les roches environnantes, donnent naissance à divers produits que nous allons faire connaître :

1° De l'hydrate de peroxide de fer, provenant de la suroxidation des sulfates ferrugineux avec des petits cristaux de sulfate de chaux.

2° De l'oxide de fer imprégnant le grès métallifère.

3° Le cuivre oxidulé, qui peut être formé soit par la décomposition du sulfate de fer dans son contact avec les roches contenant du protoxide de fer : dans ce cas, le fer se peroxide et le cuivre passe à l'état de protoxide ou se réduit entièrement; soit quand une dissolution de sulfate de fer est en contact avec une matière organique, comme dans l'expérience de M. Clément; soit quand une dissolution de sulfate de cuivre est séparée d'une nappe d'eau ou d'une solution, à un moindre degré de concentration, par de l'argile renfermant du cuivre métallique. C'est précisément le cas où le protoxide se forme avec une grande facilité dans les actions électro-chimiques, comme nous l'avons prouvé.

Le cuivre natif se forme, comme il vient d'être dit, dans la décomposition du sulfate de cuivre par les roches contenant du protosilicate de fer. L'opération s'effectue dans les fissures de la roche où l'action capillaire joue un certain rôle, comme nous l'avons montré à plusieurs reprises dans le cours de cet ouvrage.

Quand les pyrites cuivreuses se décomposent complétement, il en résulte du carbonate de cuivre qui peut se former à la manière des doubles décompositions.

Le cuivre carbonaté bleu est formé par la réaction du sulfate de cuivre sur le carbonate de chaux qui cimente les grès. On trouve souvent, l'un à côté de l'autre, le cuivre carbonaté bleu et le cuivre carbonaté vert avec de l'hydrosilicate d'alumine qui imprègne ces grès.

L'hydrosilicate d'alumine provient de l'action des sulfates sur les roches siliceuses et alumineuses. La silice qui est à l'état gélatineux provient de la même réaction. M. Fournet a reconnu qu'elle se forme dans un intervalle d'une trentaine d'années. La silice endurcie est accompagnée d'hydrosilicate d'alumine.

L'hydrosilicate de cuivre est formé par la réaction du sulfate de cuivre sur les roches qu'il traverse. Enfin le carbonate de zinc cuprifère, que l'on trouve

quelquefois dans la même localité, provient de réactions dont on ne peut encore se rendre compte.

§ IV. *Des filons de Pontgibaud.*

1239. Nous allons terminer l'examen des principales décompositions qui ont lieu dans l'intérieur de la terre, par l'exposé des changements chimiques qui ont été observés par M. Fournet dans les filons de Pontgibaud.

Les roches primitives des environs de Pontgibaud renferment une multitude de fissures ou filons dont les uns servent de réceptacle aux fragments des roches voisines et aux substances métalliques et terreuses venues de l'intérieur et de l'extérieur, et dont les autres ont donné issue à des matières volcaniques ou à des cours d'eau. Ces filons renferment tous à peu près les mêmes substances, savoir : de la galène argentifère, du cuivre pyriteux, de l'antimoine sulfuré, etc.

Le terrain qui encaisse les filons varie dans sa composition; sur les plateaux, il est formé principalement de schiste micacé, tandis que dans les vallées profondes il renferme des roches magnésiennes. Tout le système en outre est traversé par des amas de granite.

Le schiste micacé et le stéachiste sont les roches métallifères par excellence. Toutes les variétés éprouvent une altération qui les fait passer à des teintes vertes ou jaunes plus ou moins prononcées. La décomposition des pyrites qu'elles renferment donne naissance à des efflorescences magnésiennes ou vitrioliques.

La protogine fournit de gros amas saillants dans les vallées, par suite de la décomposition des roches schisteuses environnantes; elle éprouve elle-même des altérations, par le passage du feldspath à l'état de kaolin.

1240. Les filons paraissent avoir été remplis de deux manières, par des fragments anguleux des roches voisines, venus de la surface du globe, et par des sources qui ont surgi de l'intérieur. Il paraît résulter évidem-

ment de l'isolement de la silice et de la non-altération par le feu des parois de ces filons, que ceux-ci ont dû être remplis par voie aqueuse.

Le remplissage provenant de l'extérieur se compose de fragments de roches anciennes qui ont éprouvé quelque altération, tels que des schistes dont le talc et le mica sont changés en une substance grise, tachante et ardoisée; des schistes talqueux dans lesquels la stéatite s'est isolée en veinules ou nodules jaunes très-onctueux, et des granites dont le feldspath est converti en kaolin.

Les granites de même formation, qui se trouvent en amas et loin par conséquent du contact d'autres corps, n'ont éprouvé aucune altération.

Le remplissage par l'intérieur paraît être dû à des sources qui ont déposé de la silice, du sulfure de fer et des pyrites arsenicales sur les fragments des roches primitives. Ces dépôts, qui ont été enveloppés ensuite par tous les autres dépôts, constituent la première époque de remplissage.

Cette époque est caractérisée par une absence presque complète de cristallisation. Il semblerait que les eaux minérales étaient tellement chargées de substances ou d'éléments propres à produire celles-ci, qu'elles ont dû se prendre en masse.

1241. M. Fournet a observé quatre autres époques de remplissage; à la seconde, les fentes primitives ont éprouvé une nouvelle dilatation, il en est résulté plusieurs branches secondaires auxquelles on donne ordinairement le nom de filon du mur ou du toit et dont les caractères sont essentiellement différents de ceux du filon primitif. Ces branches secondaires ont été remplies par des produits secondaires et tertiaires, comme les fentes précédentes, soit par des fragments anciens provenant de la surface et des débris quartzeux du filon détachés par la violence de la secousse, soit par des dépôts de quartz et de sulfure des sources venues de l'intérieur. Les quartz se distinguent des précédents par une texture éminemment esquilleuse et par une ten-

dance prononcée à la cristallisation qui a produit, vers les dernières périodes de l'époque, des pointements cristallins.

Les dépôts du sulfure ont eu lieu autour de nodules anciens et ont formé des zones alternatives de pyrites, de galène et de quartz régulier en petits cristaux.

1242. A la troisième époque, une dilatation nouvelle du filon a eu lieu; il en est résulté les mêmes accidents qu'à la deuxième, c'est-à-dire des fractures, des éboulements de roches anciennes et formation de nouveaux minéraux. Cette dilatation paraît avoir eu pour résultat de détourner les sources qui produisaient la blende et la galène, et d'introduire dans le filon des dissolutions chargées de sulfate de baryte, ou du moins de sels capables de le produire par leur réaction.

Il n'est pas rare de trouver dans le filon de Barbeco, dont le centre est un fragment de roche ancienne, enveloppé de quartz esquilleux, des sulfures de plomb et de zinc de la précédente époque. Le sulfate de baryte, dans son contact avec les roches anciennes, a pris ordinairement des teintes violacées qui se perdent peu à peu en raison de son éloignement des roches anciennes. Ce fait confirme l'observation qui est relative à la coloration du quartz esquilleux, savoir, que les eaux ont agi par voie de dissolution sur les roches préexistantes.

1243. A la quatrième époque, l'énergie incrustante des sources paraît s'être affaiblie peu à peu; aussi les formes du minerai sont-elles de plus en plus régulières. Le filon a achevé de se constituer, les salbandes se sont formées. M. Fournet divise les produits formés en deux classes, ceux provenant des sources de l'intérieur, et ceux qui sont dus à des causes extérieures. Ces derniers sont également des argiles tenaces et onctueuses, fréquemment chargées de détritus du filon lui-même.

Quelquefois les salbandes paraissent être le résultat d'une altération profonde de roches anciennes. Cet effet peut s'expliquer par le séjour prolongé des eaux dans le filon, en raison de l'analogie que l'on remarque avec l'alté-

ration identique du même rocher à la surface de la terre.

Pendant que ces altérations avaient lieu, il s'est formé des pyrites, d'autres substances et divers carbonates qui indiquent la première arrivée de l'acide carbonique.

Enfin, la cinquième époque correspond probablement à celle des grandes alluvions et des éruptions basaltiques. Les dépôts siliceux ont toujours continué à paraître et n'ont pas cessé jusqu'à nos jours; mais avec cette différence, qu'il est impossible d'expliquer comment il se fait que la silice soit constamment dans un état gélatineux qui ne lui permet plus de cristalliser. Le fer et le manganèse y sont à l'état d'hydrate; la calamine seule, en raison de ses affinités énergiques, a pu conserver l'acide carbonique qui, du reste, se dégage depuis cette époque, avec force, soit des eaux, soit des fissures multipliées produites par les commotions qui ont accompagné la série des éruptions volcaniques. Les dépôts ferrugineux et calcaires tendent constamment à obstruer les travaux du mineur, en sorte que, après l'épuisement du filon, si on laissait les galeries fermées, et que la masse acquît de la compacité par les infiltrations successives, il est probable que des exploitations nouvelles seraient ouvertes sur des dépôts de minerais de fer hydraté silicifères; c'est ainsi que l'on trouve des ocres très-compactes, cimentant des fragments de remblais, ayant une surface mamelonnée et dorée comme celle de certains minerais de fer.

1244. Les dépôts de manganèse libre sont peu abondants, ceux de silice pure sont affectés à certaines localités, et les calcaires ne diffèrent pas en général de ceux qui constituent les stalactites ou les concrétions amorphes. Ces dernières sont quelquefois cristallisées assez irrégulièrement et en pointements oblongs. Le plus fréquemment, toutes ces substances sont mélangées confusément ensemble et constituent dans les galeries ou à la surface du sol des amas d'ocre effervescent, à base de silice gélatineuse.

1245. Dans la contrée que nous décrivons, il est fa-

cile de se rendre compte des altérations journalières que les substances minérales éprouvent par l'action des agents atmosphériques. En général, ces altérations se manifestent par l'oxidation graduelle des deux éléments des sulfures; il se forme des bases et des acides qui restent libres ou s'unissent par suite du contact, ou enfin s'emparent des autres substances voisines et forment ainsi des produits variés.

Le fer hydraté compacte et terreux provient évidemment de la décomposition des pyrites, puisqu'on trouve souvent dans son centre des portions de pyrites encore brillantes.

Le fer hydraté pulvérulent provient de la décomposition du carbonate de fer; le fer arseniate vert pâle des pyrites arsenicales; le fer phosphaté en filaments très-ténus est aussi une formation moderne.

Le fer sulfaté fibreux se forme journellement sur les bords des mines.

La galène se décompose également comme le sulfate de fer et se convertit en une substance pulvérulente noire et tachante; elle donne quelquefois naissance à du plomb carbonaté noir ou blanc vitreux ou terreux, qui reste mélangé avec la galène. On trouve fréquemment de ces formations dans les galeries de mine.

Quelquefois l'acide sulfurique reste combiné avec l'oxide de plomb et donne naissance à du sulfate en petits octaèdres.

La blende est également soumise à des altérations particulières; il se forme des sulfates et de l'oxide sulfure de zinc.

Le cuivre pyriteux, en se décomposant, donne naissance à du sulfate et à du carbonate de cuivre vert pulvérulent ou cristallisé, ou bien à du protoxide de cuivre en petites houppes soyeuses.

§ V. *De l'influence des forces électriques terrestres sur les phénomènes de décomposition et de recomposition des roches.*

1246. Maintenant que nous possédons une foule de preuves incontestables de la formation moderne d'un certain nombre de substances minérales, dans les roches et les filons, par suite de la décomposition de leurs parties constituantes, récapitulons les causes électro-chimiques qui ont pu exercer une influence déterminante sur cette formation.

Nous avons déjà indiqué les faits qui tendent à prouver qu'il existe des courants électriques dans diverses parties de l'écorce de notre globe; ces courants parcourent les veinules métalliques, conductrices de l'électricité, qui établissent la communication entre la partie non-oxidée du globe et les liquides venus de la surface par des interstices, lesquels réagissent énergiquement sur elle, comme les déjections volcaniques en sont une preuve évidente. Or ces veinules métalliques sont interrompues en mille endroits par des roches ou gangues de nature diverse, non conductrices de l'électricité, formant autant de solutions de continuité nécessaires pour que les courants réagissent chimiquement sur les parties constituantes des liquides ou des dissolutions qui mouillent et les veinules et les gangues. Il doit résulter de là une foule de décompositions et de combinaisons nouvelles, dont la nature dépend de celle des principes qui sont en présence et sur la production desquelles nous nous sommes suffisamment étendu dans le cours de notre ouvrage pour ne plus y revenir. Le lecteur ne doit pas perdre de vue que nous raisonnons toujours dans l'hypothèse où l'écorce de notre globe serait sillonnée dans tous les sens par des courants électro-chimiques dont l'existence, quoique non encore reconnue d'une manière incontestable par l'expérience, est néanmoins admise par la théorie.

Ces courants ne sont pas les seuls qui puissent exercer

une influence sur les réactions chimiques terrestres; il en est d'autres qui sont produits dans les actions chimiques partielles qui ont lieu dans une foule de localités, où l'eau aérée pénètre ainsi que des eaux minérales, et dont la participation donne une énergie nouvelle à ces mêmes actions, comme nous avons eu souvent l'occasion de le démontrer. Étudier, analyser cette participation est le but constant de nos travaux, parce que nous sommes convaincu qu'il doit résulter de ce travail des documents utiles pour l'histoire de la terre et la philosophie naturelle.

Il existe encore très-probablement une autre participation des forces électriques qui doit exercer aussi une influence sur les réactions chimiques produites à la surface de la terre : on sait, à n'en plus douter, que l'atmosphère et la terre se trouvent ordinairement dans deux états électriques différents, et que la neutralisation des deux électricités, qui s'effectue par l'intermédiaire de tous les corps qui sont à la surface de la terre, doit concourir aux actions spontanées qui ont lieu dans la plupart de ces corps, soit qu'ils appartiennent à des êtres organisés, soit qu'ils appartiennent à des corps inorganiques.

Jusqu'ici on a négligé cette influence de l'électricité qui assimile jusqu'à un certain point la terre et l'atmosphère aux deux conducteurs d'une machine électrique, chargés d'électricité contraire et à l'aide desquels on produit des décompositions; et cependant, dans l'état actuel de la science, il n'est pas permis de négliger l'action électrochimique qui en résulte dans les recherches relatives à l'influence des agents atmosphériques sur les corps qui se trouvent à la surface de la terre, puisqu'il est parfaitement démontré que l'électricité libre, qui est transmise dans des solutions salines, opère leur décomposition.

Nous cherchons, comme on voit, tous les moyens possibles de déterminer la part que prennent les forces électriques dans tous les phénomènes de décomposition et de recomposition qui se passent journellement sous nos

yeux. Néanmoins nous ne cherchons pas à donner à ces forces plus d'importance qu'elles n'en ont réellement. Bien des personnes sont disposées à attribuer tous ces phénomènes à l'électricité, mais sans appuyer leurs assertions sur des preuves suffisantes; ce qui est une faute capitale. Certes, le principe électrique joue un grand rôle dans la nature; mais si l'on veut apprécier son importance, il faut commencer par étudier tous les phénomènes de manière à pouvoir constater les effets électriques qui se manifestent dans les diverses phases de leur production, et partir de là pour rechercher comment ces mêmes effets, mis à profit, peuvent les modifier, les annuler ou leur donner une nouvelle énergie. C'est l'ensemble de toutes ces expériences qui nous indique jusqu'à quel point on peut reconnaître une origine électrique à ces phénomènes.

L'exemple suivant indique comment il faut opérer : certaines roches, en raison des influences atmosphériques, éprouvent des changements qui amènent leur décomposition ; au premier abord, on ne voit que l'eau, l'air et les variations de température qui jouent là un certain rôle ; mais si l'on tient compte des effets électriques produits dans ces diverses réactions, c'est-à-dire de la recomposition des électricités dégagées par l'intermédiaire des surfaces et de l'eau, laquelle produit une foule de courants partiels, on conçoit alors que ces courants agissant comme force chimique, joignent leur action à celle des agents atmosphériques.

CHAPITRE IV.

INDICATION D'UN PROCÉDÉ POUR ÉVALUER PAR APPROXIMATION L'ÉPOQUE D'UN DES GRANDS CATACLYSMES DU GLOBE.

1247. En entrant dans le Limousin, on est frappé de l'état de décomposition où se trouvent les granites et les gneiss jusqu'à une certaine profondeur. Toutes ces roches, retirées intactes des carrières, se décomposent avec le temps, comme on en a journellement la preuve en examinant les morceaux concassés que l'on jette sur les routes; le fer du mica passe peu à peu au maximum d'oxidation, le feldspath perd à sa surface son kaolin; il en résulte une désagrégation des parties et par suite la décomposition du granite et du gneiss. Quand les débris de ces roches sont placés sur les routes, ils sont exposés alors au broiement continuel des voitures, des pieds des hommes et des chevaux, qui les transforme promptement en une poussière très-fine qui, par la pluie, devient grasse et onctueuse comme le kaolin. Or, en broyant en parties très-fines ces roches, de manière à en former une pâte avec l'eau, jamais on ne parvient à les transformer en une pâte semblable à celle que l'on trouve sur les routes du Limousin, dans les temps de pluie. Il faut donc admettre que les influences atmosphériques et la réaction des matières organiques qui se trouvent en abondance sur les grandes communications, ont opéré en peu de temps des changements dans les parties constituantes des ro-

ches qui ont de l'analogie avec ceux qui ont transformé le feldspath en kaolin.

La décomposition de ces granites a attiré surtout notre attention, non pas sous le rapport des changements qui se sont opérés dans quelques-unes de leurs parties constituantes, mais bien sous celui de l'étendue de la partie altérée. Dans diverses localités, et particulièrement sur la route de Toulouse, en sortant de Limoges, on trouve plusieurs carrières d'où l'on tire du granite pour divers usages. La partie que l'on exploite est intacte, mais celle qui est la plus rapprochée du sol est dans un état complet de décomposition. Il n'est pas permis de douter que les causes qui ont produit cette décomposition n'aient agi par en haut. Il y a même quelque probabilité à supposer qu'elles ont dû commencer à agir immédiatement après la dernière catastrophe du globe, qui a rejeté les mers dans les bassins qu'elles occupent maintenant; car les eaux auront dû enlever toutes les roches désagrégées, toutes les parties enfin qui n'auront pu résister à leur impulsion. Ces principes posés, ne pourrait-on pas remonter à l'époque de cette dernière catastrophe, en comparant les altérations qui ont eu lieu depuis quelques siècles à celles qui se sont opérées dans les masses actuellement en place? A la vérité, il faut supposer que les causes qui existaient alors sont encore les mêmes; mais cette supposition est assez admissible depuis que l'on sait, par un grand nombre de faits, que l'état de l'atmosphère n'a pas changé sensiblement depuis cette époque.

La méthode que nous proposons, quoique inexacte à certains égards, a des avantages marqués sur les autres méthodes employées, ne fût-ce que de donner une limite, comme nous allons le voir. Voici les moyens que l'on a proposés pour arriver à la détermination de l'époque de la dernière révolution du globe :

1° Les données historiques et surtout les données religieuses; nous devons les respecter, et par conséquent ne pas en parler. 2° L'accroissement des atterrissements le

long des fleuves ou sur les côtes de la mer. Mais la nature a-t-elle toujours agi d'une manière uniforme pour produire ces atterrissements? Dans les premiers temps, lorsque la terre était jonchée de débris de toute nature qui ont été charriés par les eaux, les atterrissements ont dû s'accroître plus rapidement que maintenant. Au surplus, nous ne connaissons aucun calcul bien positif qui nous donne la marche graduelle de ces dépôts, depuis le dernier cataclysme du globe jusqu'à nos jours.

Le procédé que nous proposons repose sur des faits dont tout le monde peut vérifier l'exactitude; il importe donc de le faire connaître, parce que les géologues pourront en faire l'application dans un grand nombre de localités. Dans une question de cette nature, il ne faut pas s'appuyer sur des monuments périssables que les générations futures ne peuvent consulter, mais bien sur des témoins irréfragables, qui restent debout pour éclairer continuellement la science. Voici comment nous avons procédé :

Nous nous sommes demandé si l'on ne pourrait pas comparer les altérations qui ont eu lieu depuis quelques siècles dans des blocs de granite avec celles qui ont eu lieu dans la même roche actuellement en place. Or, la cathédrale de Limoges, qui a été construite il y a environ quatre siècles, permet d'établir une comparaison à cet égard. Cet édifice est construit en granite qui a dû être extrait des carrières les plus rapprochées de la ville, et qui, sous ce rapport, a une grande analogie avec celui de la carrière qui se trouve sur la route de Toulouse. Dans l'intérieur de la cathédrale, l'altération du granite est peu ou point sensible, surtout dans les parties qui n'ont pas été exposées à l'humidité; mais il n'en est pas de même au dehors, principalement sur les faces qui sont exposées au vent de pluie. La désagrégation, dans quelques parties, est assez profonde, dans d'autres elle l'est moins; la première conséquence que l'on tire de ces observations, que nous avons eu également l'occasion de faire dans plusieurs églises du Limousin, ainsi que sur les routes qui le traver-

sent dans tous les sens, c'est que les altérations sont dues aux influences atmosphériques. D'après cela et en raison des motifs que nous avons donnés plus haut, il faut donc attribuer à une cause semblable la décomposition des parties supérieures du granite en place. Nous avons fait un grand nombre d'observations sur la profondeur de l'altération des granites de la cathédrale : le terme moyen est de 8 millimètres. Or, la portion décomposée de la masse de granite que j'ai observée est de 1 mètre 60 centimètres environ ; en supposant que la marche des altérations ait eu lieu dans la masse de granite proportionnellement au temps, on trouve que l'altération a dû commencer il y a environ 82,000 ans. On ignore, à la vérité, la marche de la décomposition du granite en masse, qui a dû être plus rapide dans les premiers temps qu'après, puisque les parties supérieures auront préservé celles qui étaient au-dessous. Dans ce cas, la loi serait une progression décroissante et donnerait encore un nombre plus grand que celui que nous avons trouvé. Au surplus, la manière dont le granite se décompose n'a pas dû rendre aussi difficile qu'on pourrait le croire la décomposition des parties inférieures, puisqu'un des premiers effets de la décomposition étant de produire la désagrégation de ses parties constituantes, l'eau et l'air qu'elle transporte auront pénétré avec plus de facilité dans les parties inférieures que si la décomposition se fût opérée comme dans certaines roches, par une simple cémentation. Nous ne prétendons nullement donner comme définitif le nombre 82,000, attendu que la méthode employée repose sur des données qui ont encore besoin d'être examinées ; mais nous pensons que c'est une de celles qui peuvent nous conduire le plus directement à la solution d'une question qui intéresse au plus haut degré la géologie.

Nous croyons avoir atteint le but que nous nous sommes proposé, en faisant connaître au lecteur toutes les données dont la science peut disposer pour expliquer

les actions lentes en général, dans l'intérieur ou à la surface de la terre. Toutes les forces de la nature concourent à la production de ces actions; la chaleur, la lumière, l'électricité, les affinités, la capillarité, et même les forces organiques. Jadis on s'en occupait peu, parce qu'on n'avait pas cherché à analyser la part que chacune d'elles prend à l'effet général. Nous sommes bien éloigné de croire que nous ayons fait connaître toutes les causes qui interviennent; mais nous avons indiqué du moins les moyens d'investigation à l'aide desquels on peut arriver à leur détermination. Notre ouvrage n'est donc pas à beaucoup près complet: aussi doit-on le considérer comme un cadre dans lequel viendront se placer les découvertes qui enrichiront successivement cette partie de la science. Un jour à venir, l'ensemble de toutes ces connaissances formera un corps de doctrine dont les sciences physiques, chimiques et physiologiques, tireront un grand parti pour leur perfectionnement réciproque.

Nous prions de nouveau le lecteur de ne pas attacher plus d'importance que nous ne l'avons fait aux théories que nous avons données pour lier ensemble toutes les observations. Nous avons voulu seulement rendre leur étude facile, et les accompagner d'aperçus philosophiques propres à engager les jeunes physiciens à cultiver une branche de nos connaissances scientifiques qui offre une source inépuisable de découvertes importantes. Nous espérons que les observations qu'ils voudront bien nous communiquer nous mettront à même de rectifier les erreurs qui ont pu se glisser dans un ouvrage qui, en raison de l'abondance des matières, a eu plus d'extension que nous ne voulions d'abord lui en donner.

Depuis la publication des quatre premiers volumes, la science électrique a été enrichie de découvertes importantes qui doivent trouver naturellement place ici; aussi croyons-nous être agréable au lecteur en ajoutant un livre supplémentaire, dans lequel il trouvera l'exposé des principaux faits qui ont été observés.

LIVRE SUPPLÉMENTAIRE.

DÉCOUVERTES RÉCENTES EN ÉLECTRICITÉ.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA MESURE DES COURANTS ÉLECTRIQUES.

§ Ier. *Description de la balance électro-magnétique.*

1248. Lorsque les deux électricités émanent sans interruption d'une source commune, et parcourent des corps conducteurs solides ou liquides dont les dimensions sont invariables, il en résulte un courant dont l'action sur l'aiguille aimantée, ou sur les solutions, dépend de la quantité d'électricité en mouvement et de sa tension. Si toute la quantité d'électricité dégagée ne circule pas librement dans les conducteurs, elle élève leur température. Quand la tension augmente, la même quantité devient apte à vaincre l'inertie des conducteurs, ainsi que l'affinité réciproque de leurs parties constituantes.

L'aiguille aimantée, librement suspendue, est employée ordinairement pour évaluer l'intensité absolue du courant, abstraction faite de la tension de l'électricité.

On n'a trouvé jusqu'ici que deux moyens pour comparer entre eux les courants, sous le rapport de leur intensité absolue. Le premier consiste à faire osciller une aiguille à la même distance d'un fil conducteur traversé par des courants n'ayant pas la même énergie, et à calculer ensuite l'intensité de chacun d'eux au moyen de la

formule du pendule. Cette méthode ne peut servir que lorsqu'il s'agit de comparer ensemble des courants d'une certaine force, produits par de l'électricité fournie par une source constante. La seconde, qui est destinée à évaluer de faibles courants, exige l'emploi d'un multiplicateur; les déviations de l'aiguille aimantée, comme on sait, font connaître l'intensité du courant. Mais quand ces déviations dépassent une certaine limite, il est impossible d'obtenir une loi générale qui exprime le rapport entre la déviation de l'aiguille aimantée et l'intensité du courant, et même de former une table empyrique, capable de donner des résultats sur lesquels on puisse compter.

Nous avons suivi une autre marche : nous évaluons en poids l'effet électro-magnétique d'un courant.

On prend une balance d'essai, T B C (fig. 6), trébuchant à une fraction de milligramme. A chacune des extrémités du fléau *ff'*, on suspend à une tige verticale, d'un décimètre de long, un plateau *p*, *p'*. Au-dessous de chaque plateau se trouve un anneau qui sert à suspendre un barreau d'acier aimanté *a b*, *a' b'*, au moyen d'un fil de soie: chaque barreau a 3 millimètres de diamètre et 8 centimètres de long. Ces deux barreaux sont aimantés à saturation et tournent leur pôle boréal en bas, c'est-à-dire le pôle qui regarde ordinairement le sud, quand l'aiguille aimantée est suspendue horizontalement. On évite par ce moyen que les aimants ne perdent une partie de leur magnétisme. Les deux plateaux de la balance, quand ils sont en équilibre, doivent trébucher au moins à un demi-milligramme.

On prend ensuite deux tubes creux en verre, d'un diamètre assez grand pour que les deux barreaux puissent y entrer sans toucher les parois, quand ils sont placés verticalement au-dessous d'eux. On enroule autour de chacun de ces tubes un fil de cuivre recouvert de soie de manière à former une hélice de dix mille circonvolutions, s'il s'agit de courants électro-chimiques, ou d'un petit nombre de tours si l'on ne veut opérer que

sur des courants thermo-électriques. Ces deux tubes sont alors fixés verticalement sur des petits plateaux horizontaux en cuivre $c\ c$, $c'\ c'$, mobiles dans deux directions perpendiculaires entre elles au moyen de vis de rappel v v', afin de pouvoir les centrer par rapport à l'axe des barreaux.

Ne considérons pour un instant qu'une seule des hélices, et faisons passer un courant à travers le fil; il est bien évident que, suivant la direction de ce courant, le barreau aimanté s'élèvera ou s'abaissera et fera participer à ce mouvement le fléau avec lequel il est en rapport. Disposons maintenant la seconde hélice de telle sorte que le mouvement du fléau s'exécute dans le même sens, quand le fil est parcouru par le courant, et faisons communiquer ensuite les deux hélices l'une avec l'autre; les actions qu'elles exerceront sur les deux barreaux s'ajouteront nécessairement. Quelques exemples vont donner une idée de la sensibilité de l'appareil, ainsi que du parti que l'on peut en tirer pour comparer ensemble les courants sous le rapport de leur intensité.

1249. Ayant pris deux lames, l'une de zinc et l'autre de cuivre, présentant chacune une surface de quatre centimètres carrés, et en communication avec les deux extrémités libres des deux hélices, on les a plongées en même temps dans 10 grammes environ d'eau distillée. Les plateaux ont trébuché et il a fallu ajouter un poids de $0^{gr},0025$ pour maintenir l'équilibre. En plaçant dans le circuit un multiplicateur à fil court, l'aiguille aimantée a été déviée de 60°.

N'ayant rien changé au dispositif de l'appareil, on a plongé dans l'eau le bout d'un tube humecté d'acide sulfurique; les plateaux ont trébuché de tout suite dans le même sens, en vertu de l'accroissement de force du courant. Il a fallu alors $0^{gr},0355$ pour maintenir l'équilibre; il résulte de là que le second courant est au premier dans le rapport de 355 à 25, c'est-à-dire à peu près comme 14 est à 1. Une addition à l'eau d'une très-petite quantité d'acide sulfurique a donc suffi pour

rendre le courant quatorze fois plus énergique qu'il n'était auparavant. En ajoutant successivement de l'acide sulfurique jusqu'à 3 grammes, on est arrivé à un point où il a fallu $0^{gr},052$ pour empêcher la balance de trébucher. Les deux courants étaient donc dans le rapport de 1 à 17, rapport qui n'a pas augmenté, comme on le voit, en raison de l'acide. En ajoutant une plus grande quantité d'acide, on n'a pas augmenté l'intensité du courant.

En substituant à l'eau distillée de l'eau saturée à moitié de sel marin, il a fallu $0^{gr},025$ pour maintenir l'équilibre. On a plongé dedans, comme précédemment, un tube humecté d'acide sulfurique; le courant a exercé une action telle qu'il a fallu employer $0^{gr},032$ au lieu de $0^{gr},0355$, comme dans l'expérience précédente, pour maintenir l'équilibre.

En opérant avec un grand couple voltaïque de plusieurs décimètres de côté, il a fallu, pour maintenir l'équilibre, un poids de $0^{gr},0315$, résultat qui est à peu près le même, comme on devait s'y attendre, que celui qu'on a obtenu avec un couple de petite dimension, attendu que l'intensité du courant est dépendante de la longueur et du diamètre du fil qu'il parcourt, ainsi que de la tension de l'électricité.

1250. Nous avons cherché ensuite le rapport entre des courants provenant de piles composées d'éléments plus ou moins nombreux. Avec une pile de 40 couples de 4 centimètres de côté, chargée avec de l'eau renfermant $\frac{1}{50}$ d'acide sulfurique, $\frac{1}{20}$ de sel marin et $\frac{1}{100}$ d'acide nitrique, il a fallu employer $0^{gr},615$ pour maintenir l'équilibre, d'où il suit que l'intensité de ce courant relativement à son action sur l'aiguille aimantée, après avoir traversé les deux spirales, est à celle du courant obtenu avec un seul couple, fonctionnant avec l'eau salée et l'acide sulfurique, comme 6150 : 35, c'est-à-dire comme 176 est à 1.

Ces trois exemples prouvent avec quelle facilité on compare ensemble, au moyen de poids, les intensités

de courants produits par de l'électricité à faible et à forte tension.

Le multiplicateur est, à la vérité, plus sensible que la balance électro-magnétique, mais aussi il ne possède pas les mêmes avantages que ce dernier appareil. Le premier doit être préféré quand il s'agit de constater l'existence et la direction des courants, et l'on doit employer la balance toutes les fois qu'il est nécessaire de comparer ensemble des courants d'intensités très-diverses.

Pour mesurer les courants thermo-électriques, et les comparer aux courants électro-chimiques, on se sert d'hélices disposées comme celles que nous avons décrites précédemment, si ce n'est qu'elles ne sont formées que d'un double rang de circonvolutions.

1251. Appliquons cette méthode, pour en montrer l'usage, à la détermination de la température des diverses enveloppes qui composent la flamme d'une lampe à alcool.

On sait qu'en plaçant dans une des enveloppes d'une flamme les points de jonction de deux fils de platine, n'ayant pas le même diamètre, réunis par un de leurs bouts et en communication par les deux autres avec un multiplicateur thermo-électrique, on a un courant dont l'intensité dépend de la température que possède l'enveloppe. On a trouvé avec le multiplicateur, en admettant que le rapport constant qui existe entre la température et l'intensité du courant jusqu'à 350°, ait encore lieu pour des températures plus élevées, que 1350°, 1080 et 780° centigrades sont les températures des trois enveloppes principales de la flamme d'une lampe à alcool, ou du moins celles qu'acquièrent les fils de métal qu'on y plonge; ainsi plus leur diamètre est petit, plus on obtient des valeurs approchées des températures des diverses enveloppes.

Nous avons voulu voir si l'on n'obtiendrait pas des résultats à peu près semblables en mesurant les températures avec la balance électro-magnétique; les expériences ont été aussi satisfaisantes qu'on pouvait l'espérer : en effet,

En plaçant les points de jonction à l'extrémité de la

flamme bleue, il a fallu employer, pour maintenir l'équilibre, 0gr,00525.

En les plaçant à l'extrémité supérieure de la flamme, on a eu 0gr,004, et dans le rouge naissant, 0gr,00325. Ayant reconnu que pour 135° centigrades de déviation de l'aiguille aimantée, il fallait, pour maintenir l'équilibre, un poids de 0gr,0005, on en a conclu que

0,00525	correspondent	à	1397°,50
0,004	idem	»	1081
0,00325	idem	»	877 ,50

En opérant en même temps avec le multiplicateur, on a obtenu les résultats suivants :

DÉVIATION de l'aiguille aimantée.	INTENSITÉ du courant mesurée avec la balance.	TEMPÉRATURE correspondante.
39	59°	1,310° 99
32	41, 1	913, 24
28	33, 5	743, 56

On voit qu'on a obtenu d'abord 1350°, puis 1397° et 1310° pour la température la plus élevée de la flamme, en employant successivement le multiplicateur, la balance électro-magnétique, et simultanément ces deux appareils. Les différences entre ces résultats proviennent probablement de la difficulté que l'on éprouve à placer dans les mêmes parties de la flamme les points de jonction des deux fils métalliques. Ces expériences prouvent, quoi qu'il en soit, que les fils de platine employés n'acquièrent pas une température supérieure à 1400° dans la partie la plus chaude de la flamme, et que cette température peut servir à apprécier celle de la source.

Il était curieux de connaître aussi la température que

prenaient les points de jonction des deux fils de platine exposés au dard du chalumeau. Ces points ayant été placés à l'extrémité de la pointe bleue, on a eu une intensité égale 72, correspondante à 1599° du thermomètre centigrade.

Nous ne devons pas oublier d'indiquer une précaution à prendre pour assurer le succès des expériences faites avec la balance électro-magnétique : lorsque le barreau aimanté est placé dans l'hélice parcourue par un courant, il est attiré quelquefois par ce dernier plutôt d'un côté que de l'autre, lorsqu'il n'est pas placé exactement dans l'axe du tube de verre. Pour éviter cette cause d'erreur, il faut recommencer l'expérience à diverses reprises, en centrant de nouveau le barreau.

Nous croyons en avoir dit assez pour montrer l'usage de la balance électro-magnétique ; nous verrons plus loin le parti que l'on peut en tirer pour mesurer les effets électro-chimiques.

§ II. *De la pile à courant constant.*

1252. Lorsque l'on veut mesurer l'action continue d'une force, il faut chercher d'abord les moyens nécessaires pour lui donner une intensité constante ou bien une intensité variable suivant une loi connue. Or, le courant électrique produit par les piles ordinaires, et même par un seul couple, est sujet à des variations continuelles qui ne permettent pas de soumettre son mode d'action au calcul. C'est pour parer à cet inconvénient que nous avons construit une pile qui donne naissance à un courant dont l'intensité ne varie pas sensiblement dans l'espace de 24 heures, et même quelquefois de 48 heures.

Nous avons fait connaître (1) un appareil très-simple qui jouit de la propriété de donner un courant qui éprouve peu de variations pendant le temps ci-dessus

(1) T. III, 526.

indiqué : il est formé de deux petits bocaux en verre dont l'un renferme de l'acide nitrique concentré et l'autre une solution de potasse caustique très-concentrée ; les deux bocaux communiquent ensemble au moyen d'un tube de verre recourbé, rempli d'argile très-fine humectée d'une solution de sel marin. Dans le bocal où se trouve l'alcali, plonge une lame d'or, et dans l'autre une lame de platine. Si l'on met en communication ces deux lames, au moyen de fils d'or et de platine, avec le multiplicateur, on a un courant assez énergique qui provient de la réaction de l'acide sur l'eau, le sel marin et la potasse. La lame d'or prend à l'alcali l'électricité négative, et la lame de platine l'électricité positive à l'acide.

1253. Pour obtenir le maximum d'effet, il faut avoir égard, dans la construction de cet appareil, à des principes que nous allons rappeler.

S'il était possible de transformer en courant toute l'électricité qui se dégage dans la combinaison d'une quantité donnée d'acide avec la quantité proportionnelle d'alcali, ce courant serait capable de décomposer à son tour tout le sel formé. D'après cela, si, dans la réaction d'un acide avec un alcali, on parvient à saisir une assez forte partie des électricités dégagées, on pourra avoir un courant d'une intensité suffisante pour effectuer des décompositions. Les liquides étant de très-mauvais conducteurs, comparativement aux métaux, on doit donc employer tous les moyens possibles pour augmenter leur conductibilité. Voici comment nous y sommes parvenu:

On prend deux tubes en platine, de 8 centimètres de long et de deux centimètres de diamètre, recourbés en E, E′ (fig. 7). On adapte en B, B′ un tube de verre de 6 centimètres, qui entre avec frottement dans les tubes de platine ; en E E′ sont soudés deux crochets également en platine; la partie A B est remplie d'argile humectée avec de l'acide nitrique, la partie B B′ d'argile humectée avec du sel marin, et enfin la partie B′ A′, d'argile humectée avec la solution de potasse. Les extrémités A A′

sont fermées avec des couvercles en platine, pouvant s'enlever facilement et percés d'un grand nombre de petites ouvertures d'un millimètre de diamètre. Dans l'intérieur de ces couvercles on met du coton pour empêcher l'argile de s'échapper par les petites ouvertures. On voit sur-le-champ que l'acide de la partie A B, dès l'instant qu'il réagit sur le liquide du tube B B', prend l'électricité positive, qu'il transmet à la paroi environnante; de même, la paroi du tube B' A' s'empare de l'électricité négative de l'alcali. Pour faciliter cette transmission de l'électricité de l'argile humide au platine, on mêle cette argile avec une quantité plus ou moins considérable de platine en poudre.

Les choses étant ainsi disposées, si l'on fixe des fils de platine aux crochets *t t'*, ces fils peuvent servir à transmettre le courant résultant de la combinaison de l'acide avec l'alcali, dans les solutions que l'on veut soumettre à son action; mais ce n'est pas tout : on plonge l'extrémité A dans un bocal rempli d'acide nitrique, et l'extrémité A' dans un bocal rempli d'une solution alcaline. L'une et l'autre solution monte dans les tubes recourbés à travers les petites ouvertures pratiquées dans les couvercles. Cette disposition nous paraît la plus avantageuse à adopter pour recueillir le plus possible d'électricité dans la combinaison de l'acide avec l'alcali. Quand l'intensité du courant est diminuée sensiblement, au bout d'un certain temps, par suite de la présence du nitrate de potasse dans l'argile du tube de verre, qui, en cristallisant, lui a enlevé une partie de l'eau qu'elle renfermait, on retire alors le tube et on change l'argile. L'action du couple devient telle qu'elle était en premier lieu.

Si l'on considère cet appareil comme formant un seul couple, et que l'on en réunisse plusieurs semblables pour former une pile, de manière que la branche qui renferme l'alcali communique, au moyen d'un fil de platine, avec la branche qui renferme l'acide dans un autre couple, et ainsi de suite, on arrive à former une pile dont l'action

ne varie pas sensiblement dans l'espace de 24 heures, et qui peut servir à opérer des décompositions chimiques. Avant de donner les résultats que nous avons obtenus avec cette pile, nous allons rapporter les expériences que nous avons faites avec l'appareil simple à tube de platine. Les deux fils conducteurs de cet appareil ont été mis en communication avec les deux bouts libres des deux hélices de la balance électro-chimique. Il a fallu, pour maintenir l'équilibre, employer un poids de $0^{gr.},0085$. Un galvanomètre à fil court, placé dans le circuit, a donné une déviation de 79°. Trois couples voltaïques ordinaires ont donné, pour l'évaluation en poids de l'intensité du courant :

NOMBRE de couples.	INTENSITÉ du courant exprimée en poids.	DÉVIATION correspondante du multiplicateur.
	gr.	
Un couple.....	..... 0,004	 70
Deux couples.....	..... 0,005	 73
Trois couples.....	..... 0,006	 75

On voit sur-le-champ que le couple construit avec les cylindres de platine donne un courant double en intensité de celui que l'on obtient avec l'un des couples de l'ancien système, et un courant qui est à celui de trois couples dans le rapport de 4 à 3. Ce résultat est important à noter pour les effets électro-chimiques.

1254. Voyons les effets obtenus avec une pile formée avec quatre couples du nouveau système et fonctionnant depuis quinze jours, dans le circuit de laquelle est placé un multiplicateur à fil court : à l'instant où les communications ont été établies, on a eu une déviation de 76°,50 ; une demi-heure après, la déviation était de 76 : elle n'avait donc perdu qu'un demi-degré ; mais en interrompant la com-

munication pendant cinq minutes, l'aiguille est revenue à 76°,50. Cette expérience, répétée trois heures après, a donné, comme la première fois, 76°,50; ensuite elle n'a plus varié pendant 24 heures. Cette légère différence obtenue dans les premiers instants, est due à l'action de l'acide et de l'alcali sur les corps étrangers adhérents aux lames de platine.

Ce résultat, c'est-à-dire, cette permanence dans l'intensité du courant, nous annonce un fait assez important, c'est que les surfaces de platine ne se polarisent pas sensiblement dans les circonstances où nous opérons.

Il est facile de se rendre compte de l'effet sensiblement constant de cet appareil : on sait que les lames métalliques décomposantes faisant partie d'un circuit voltaïque, et plongeant dans une solution, se polarisent de manière à produire un courant dirigé en sens inverse du premier. La polarisation de chacune de ces lames consiste dans le dépôt des éléments transportés sur sa surface par le courant, et dont la nature dépend de la position de cette lame par rapport aux extrémités de la pile. Tant que ces éléments restent en contact avec la lame, il y a un courant dirigé en sens contraire du courant primitif; mais si la substance est entourée d'un liquide qui ait une forte affinité pour elle, elle se combine avec lui et la lame est aussitôt dépolarisée. C'est précisément ce qui arrive dans les différents éléments de la pile que nous décrivons; la lame de chaque couple qui plonge dans l'acide étant le pôle négatif, attire l'alcali du sel marin et du nitrate de potasse formé, lequel se combine immédiatement avec l'acide environnant. De même, l'acide du sel marin et celui du nitrate de potasse est transporté sur la lame positive et se combine avec l'alcali environnant. Il n'existe donc pas, à proprement parler, de polarisation; aussi il n'y a pas de raison pour que la pile éprouve des variations tant que la combinaison de l'acide avec l'alcali, par l'intermédiaire du tube recourbé, s'effectue d'une manière lente et régulière.

1255. Pour donner une idée des effets qui proviennent de la polarisation des lames, nous rapporterons les expériences suivantes, faites successivement avec un, deux, trois, quatre couples, en dirigeant le courant dans une solution de sel marin, au moyen de deux lames de platine, et plaçant un multiplicateur dans le circuit (fig. 8).

Avec un couple, l'aiguille aimantée a été chassée, à l'instant où le circuit a été fermé, à 37°; elle s'est arrêtée à 5°; peu à peu la déviation a diminué, et dix minutes après elle était nulle. En interrompant la communication avec le couple et la rétablissant immédiatement, l'aiguille aimantée n'a pas été déviée; en ne la rétablissant qu'au bout d'une demi-heure, l'aiguille a été de nouveau chassée à 37°.

Avec deux couples, à l'instant de la fermeture du circuit, l'aiguille a été toucher le point d'arrêt;

Deux minutes après elle s'est arrêtée à..	25
Cinq minutes après à.....	18
Cinq minutes après à.....	16

Trois couples.

Première impulsion; l'aiguille touche l'arrêt :

Deux minutes après.....	52
Cinq minutes après.....	28
Cinq minutes après.....	21

Quatre couples.

Première impulsion; l'aiguille touche l'arrêt :

Deux minutes après, l'aiguille est chassée à	56
Cinq minutes après, à.....	35
Cinq minutes après, à.....	30

On voit que les effets de la polarisation sont d'autant moindres que l'on opère avec plus de couples.

Il est facile d'expliquer pourquoi, avec un couple, les lames de platine sont polarisées en peu d'instants, au

point d'annuler l'effet du courant primitif. Les deux lames de platine qui se trouvent dans le sel marin, en se polarisant, s'entourent, l'une d'acide et l'autre d'alcali, de manière que ces deux corps, en réagissant sur l'eau salée, produisent un courant égal en intensité à celui qui est fourni par le couple électro-chimique, si ce n'est qu'il est dirigé en sens inverse. Cet effet doit se produire dès l'instant que les lames sont recouvertes d'une quantité suffisante d'acide et d'alcali pour réagir sur les liquides environnants.

Avec deux couples, la polarisation étant toujours égale à l'action d'un seul, ne doit plus annuler le courant primitif; aussi en résulte-t-il une différence d'effets, qui devient ensuite d'autant moindre, que l'on opère avec plus de couples, comme les résultats suivants le prouvent :

NOMBRE de couples.	DURÉE de l'expérience.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.	FORCE correspondante.
1	12 minutes	0	0
2	Idem	16	16
3	Idem	21	22,1
4	Idem	30	37,2

D'après ces observations, pour obtenir des décompositions chimiques avec le courant provenant d'un seul couple, il faut disposer les choses pour que les lames décomposantes ne soient pas polarisées; c'est ce qui arrive, par exemple, quand elles sont en cuivre, et que le liquide soumis à leur action est du nitrate de même métal : le cuivre qui se dépose sur la lame négative ne réagit pas sur la solution de nitrate, et l'acide nitrique qui se rend sur la lame positive en se combinant avec le cuivre, accroît

l'intensité du courant. Il en est de même pour toutes les dissolutions métalliques dont les oxides sont réduits immédiatement, pourvu que l'on emploie des lames d'une nature convenable.

1256. Les effets de polarisation des lames décomposantes sont d'une telle importance pour l'étude des phénomènes électro-chimiques, que nous croyons devoir entrer dans de nouveaux détails à cet égard.

Le courant à intensité constante éprouve des variations, comme on vient de le voir, quand les lames de platine décomposantes plongent dans des dissolutions salines dont les bases ne peuvent être réduites immédiatement. Ces variations ne sont pas dues entièrement à la polarisation : une partie doit être rapportée à la réaction des dissolutions sur les corps étrangers adhérents aux lames de platine, comme on l'a déjà dit, et comme le prouve encore l'expérience suivante :

Ayant placé dans le circuit de l'acide sulfurique concentré, où plongeaient deux lames de platine, l'aiguille aimantée fut déviée de 36°; cinq minutes après elle n'était plus que de 29°; elle descendit à 25° et resta longtemps dans cette position. Nul doute que la réaction de l'acide sur les corps étrangers adhérents au platine ne fût la cause de cette diminution rapide dans l'intensité du courant. Nous avons avancé depuis longtemps le principe que la polarisation des lames décomposantes devait être attribuée à la réaction, sur le liquide environnant, des éléments déposés par le courant sur ces mêmes lames, même lorsque ce courant provenait du couple le moins actif. Ce principe peut être démontré à l'aide de réactifs propres à constater la présence de quantités excessivement faibles d'acide et d'alcali. On prend un tube recourbé en U, dans lequel on verse une solution de sel marin, colorée par l'infusion de chou rouge, et l'on met en communication les deux branches avec un seul couple de l'appareil à courant constant, puis l'on introduit dans le circuit un multiplicateur à fil court. La déviation de l'aiguille aimantée est d'abord de 45°; elle diminue

successivement jusqu'à devenir nulle. En même temps le liquide contenu dans la branche positive prend une teinte rouge, et celui qui se trouve dans la branche négative une teinte verte. Ces deux réactions nous accusent la présence d'un acide et d'un alcali dans les deux parties du liquide soumis à l'action du couple. L'expérience suivante tend encore à prouver que la polarisation provient bien du transport des éléments :

Prenons l'élément de la pile à intensité constante, et faisons communiquer la lame de platine qui se trouve dans l'acide avec le pôle négatif d'une pile de 30 éléments, chargée comme à l'ordinaire, et la lame de platine qui plonge dans la dissolution alcaline avec le pôle positif de la même pile; les deux lames vont se polariser par suite du transport de l'alcali sur la lame négative et de l'acide sur la lame positive. Si, avant cette expérience, l'on a mesuré l'intensité du courant produit par l'élément quand les deux fils de platine extrêmes sont mis en relation avec le multiplicateur, et si on la mesure de nouveau après que le même élément a été mis en communication pendant 10 minutes avec la pile, on trouve que dans l'un et l'autre cas l'intensité est la même. Cependant il y a eu transport d'éléments sur les lames de platine. Mais cette absence de polarisation vient de ce que l'alcali s'est combiné immédiatement avec l'acide, au fur et à mesure qu'il arrivait sur la lame de platine qui plongeait dans l'alcali; tandis que l'acide entrait immédiatement en combinaison à l'instant où il se déposait sur la lame qui plongeait dans l'alcali.

§ III. *Considérations sur les rapports qui lient les affinités aux forces électriques.*

1257. La mesure des affinités est une des grandes questions qui occupent depuis longtemps les philosophes. La théorie atomique a bien jeté quelque jour sur leur mode d'action; mais elle n'a pu parvenir encore à comparer ensemble les intensités des forces en vertu des-

quelles une même substance se combine séparément avec deux autres.

L'affinité chimique des corps est la faculté qu'ils possèdent de se combiner les uns avec les autres, jusqu'à ce qu'ils se trouvent unis dans la proportion qui constitue leur état de saturation, c'est-à-dire, jusqu'à ce qu'ils perdent leur affinité mutuelle et rentrent dans un repos parfait.

On a pris pour le rapport des affinités d'un corps pour deux autres, celui des quantités pondérables de ceux-ci que le premier peut saturer. Cette méthode, qui est rationnelle, ne donne pas néanmoins une idée exacte de la force qui mesure les affinités; il faut recourir pour cela à l'électricité. On conçoit effectivement qu'un courant électrique, qui opère la séparation des éléments d'une combinaison, peut représenter la force qui maintient cette combinaison, et par suite servir de mesure à leur affinité réciproque; mais la difficulté est de déterminer rigoureusement l'intensité du courant nécessaire pour opérer la séparation des éléments. Toute la question est là.

Depuis les belles découvertes de M. Faraday sur la nature définie et l'extension de la décomposition électrochimique, nous savons que le pouvoir chimique d'un courant électrique est en proportion directe avec la quantité absolue d'électricité qui passe. Ce principe a été vérifié pour la première fois sur le proto-chlorure d'étain, qui ne renferme pas d'eau. L'appareil était tellement disposé, que le chlore développé sur la lame positive formait du bi-chlorure d'étain qui se volatilisait, tandis que l'étain se déposait sur la lame négative. Voici les résultats d'une des expériences que nous lui devons:

La lame négative pesait 20 grains, et après que le dépôt eut été effectué, 23 grains 2. L'étain transporté pesait donc 3 grains 2. D'un autre côté, la quantité d'oxygène et d'hydrogène provenant de l'eau décomposée par le même courant pesait 0,49742 grains. Il résulte de là que le même courant qui décomposait ce poids d'eau,

décomposait aussi un poids de proto-chlorure d'étain qui contenait 3,2 grains de métal. Il en a conclu dès lors cette proportion : 0,49742 : 3,2 :: 9 équivalent de l'eau : 57,9 équivalent de l'étain ; résultat qui est sensiblement le même que celui que l'on obtient par les procédés ordinaires de la chimie. C'est en suivant une marche semblable que M. Faraday est parvenu à trouver les équivalents électro-chimiques d'un certain nombre de corps, qui coïncident parfaitement avec les équivalents chimiques ordinaires.

Le procédé employé par M. Faraday indique bien les moyens de déterminer les équivalents des corps, mais nullement l'intensité de la force qui agit à chaque instant. C'est cette lacune que nous avons essayé de remplir au moyen des appareils décrits précédemment.

1258. Quelques développements sur les rapports qui lient les affinités aux forces électriques sont indispensables ici.

On a remarqué depuis longtemps que les éléments qui sont combinés avec le plus d'énergie, sont aussi ceux qui sont décomposés avec le plus de force par le courant, et que les éléments qui sont combinés en vertu de faibles affinités, sont ceux qui obéissent le moins à l'action décomposante de l'électricité en mouvement. Il paraît résulter de là que tous les corps composés se séparent sous l'influence d'un courant électrique, en raison de la force de l'affinité qui unit leurs éléments. M. Faraday a prouvé en outre, par des expériences décisives, qu'un courant qui traverse l'eau en décompose une portion qui est exactement proportionnelle à la quantité d'électricité que l'on fait passer, en supposant, bien entendu, que la source d'électricité soit la même.

Quand cette électricité traverse une solution, elle rend aux éléments qui sont combinés les états électriques qu'ils possédaient avant la combinaison, et qui sont précisément ceux qui se sont manifestés quand la combinaison s'est opérée. Or, comme tout porte à croire que les états électriques sont dépendants des affinités, il

s'ensuit que, lorsque deux corps réagissent l'un sur l'autre, si l'on pouvait recueillir toute l'électricité qui devient libre, cette électricité servirait à mesurer les affinités, puisque la tension paraît en rapport avec des affinités.

D'un autre côté, il est bien établi par les expériences de M. Faraday, 1° que les pouvoirs électriques sont définis comme l'action chimique de l'électricité; 2° qu'une quantité considérable d'électricité, sous forme de courant, ne décompose que peu d'éléments; qu'un grain d'eau acidulée exige, par exemple, pour sa décomposition, un courant électrique continu, fonctionnant pendant 3 minutes 45″, lequel est suffisant pour maintenir à la chaleur rouge dans l'air, pendant le même temps, un fil de platine de $\frac{1}{104}$ de pouce de diamètre; 3° que l'agent électrique est employé seulement à vaincre les pouvoirs électro-chimiques; d'où l'on peut tirer la conséquence que la quantité qui passe est au moins égale à celle que possèdent les molécules séparées, c'est-à-dire, que si le pouvoir électrique qui tient combinés les éléments d'un grain d'eau pouvait devenir un courant, il serait égal au courant nécessaire pour séparer les éléments du grain d'eau; 4° qu'il existe un accord parfait entre la théorie des proportions définies et celle de l'affinité électro-chimique; d'où il résulte que l'on peut considérer les parties équivalentes des corps, comme des volumes qui contiennent d'égales quantités d'électricité, ou qui ont des pouvoirs électriques égaux. Les atomes des corps qui sont équivalents l'un à l'autre dans leur action chimique ordinaire, possèdent donc des quantités égales d'électricité unies à eux.

M. Faraday mesure l'électricité qui passe dans une solution, au moyen de l'action chimique qu'elle produit. Il emploie à cet effet un appareil qui, placé sur la route du courant, peut servir à volonté d'étalon comparatif ou de mesureur absolu de l'électricité. Cet appareil lui a servi à faire voir que l'action chimique décomposante d'un courant est constante pour une même quantité d'électricité, malgré les variations qui peuvent avoir

lieu dans son intensité, dans les dimensions des fils ou plaques employés, et la nature des corps conducteurs au travers desquels elle passe.

La forme des appareils décomposants varie suivant la nature des expériences que l'on a en vue. S'agit-il de recueillir des substances gazeuses? il se sert de tubes droits gradués contenant chacun une lame de platine et un fil de même métal soudé avec de l'or et fixé par la fusion à l'extrémité fermée du tube. Ces tubes sont remplis d'une solution quelconque, par exemple, d'une solution d'acide sulfurique dans l'eau; après en avoir rempli ces tubes, on les renverse dans un vase renfermant le même liquide. Quand il veut connaître l'influence qu'exercent les dimensions des plaques, il met tous ces appareils en communication les uns avec les autres et avec l'appareil voltaïque, afin que tout le système soit traversé en même temps par le courant électrique. C'est en opérant de cette manière qu'il a trouvé que la quantité de gaz était sensiblement la même, quelles que fussent les dimensions des plaques et la nature des liquides contenus dans les différents appareils.

M. Faraday a disposé aussi trois appareils de manière que le courant, après avoir traversé l'un d'eux, se divisait en deux autres qui se réunissaient ensuite. Il a trouvé dans ce cas que la somme des décompositions dans les deux derniers appareils était toujours égale à la décomposition dans le premier.

Il résulte enfin de toutes les expériences de M. Faraday, qu'un courant qui traverse l'eau en décompose une portion qui est exactement proportionnelle à la quantité d'électricité qui est passée, indépendamment des nombreuses différences de variation que cette électricité éprouve, pourvu cependant que la source ne change pas. Ainsi donc, en se garantissant de certains effets secondaires, tels que des dissolutions ou recombinaisons de gaz dans les liquides, les produits de la décomposition peuvent servir à mesurer l'électricité employée.

1259. On voit parfaitement que, dans les expériences de M. Faraday, il est inutile d'avoir un courant constant, puisque tous les appareils décomposants se trouvant liés ensemble, éprouvent tous en même temps les effets des variations du courant; dès lors les résultats sont les mêmes que si ce courant primitif avait une intensité invariable. Néanmoins il n'est pas sans intérêt pour la science d'établir les rapports qui peuvent exister entre les effets produits et l'intensité de la force mise en mouvement par l'appareil à courant constant. La solution de cette question, si l'on veut remonter jusqu'à la force strictement nécessaire pour vaincre les affinités, présente des difficultés; mais nous ne la croyons pas impossible. Voici le résultat des premières recherches que nous avons faites à ce sujet, en faisant toujours marcher de front la balance électro-magnétique et le multiplicateur à fil court:

Lorsque l'on fait passer un courant invariable dans deux solutions de nitrate de cuivre à différents degrés de saturation et communiquant entre elles, d'une part avec un fil de cuivre, de l'autre avec deux fils de même métal en relation avec l'appareil décomposant, la quantité de sel décomposée est absolument la même dans les deux. On a pris $2^{gr.},8$ de nitrate de cuivre sec que l'on a fait dissoudre dans $10^{gr.},3$ d'eau; moitié de la solution a été augmentée de son volume d'eau distillée. Les deux fils de cuivre qui plongeaient dans les deux branches négatives pesaient chacun $0^{gr.},3385$. Après 48 heures d'expérience, ces fils pesaient chacun $0^{gr.},36$; ils avaient donc gagné en poids $0^{gr.},0215$. L'intensité du courant exprimée en poids était représentée par $0^{gr.},005$.

La déviation de l'aiguille aimantée était égale à 66°; l'intensité du courant ayant été diminuée de moitié, la déviation n'a plus été que de 45°. La quantité de cuivre réduite dans l'espace de 48 heures a été trouvée égale à $0^{gr.},01$, c'est-à-dire, moitié de ce qu'elle était dans l'expérience précédente.

On a soumis le même fil et les mêmes solutions à l'action d'un courant faisant équilibre à $0^{gr.},003$ pendant

12 heures; on a obtenu $0^{gr},0015$. Or, si l'on compare les quantités de cuivre réduites dans les deux expériences, on les trouve exactement proportionnelles aux intensités du courant. Diverses expériences du même genre ont été faites sur des solutions d'argent, en variant la densité de ces solutions et l'intensité du courant. On voit donc que lorsque la source reste constante, si l'on diminue l'intensité du courant, en introduisant dans le circuit des fils métalliques d'une certaine longueur, les quantités de métal réduit sont exactement proportionnelles aux intensités du courant.

Ces résultats sont parfaitement d'accord avec ceux qui ont été découverts par M. Faraday. Il y a cette différence entre les résultats du physicien anglais et ceux que nous rapportons ici, c'est qu'il fait abstraction de l'intensité absolue du courant, tandis que nous en tenons compte. Nous introduirons donc, dans les expériences, un élément nouveau qui peut avoir de l'importance.

1260. Nous avons cherché avec la balance électro-magnétique, lorsque l'on soumettait à l'action d'un même courant, d'une intensité connue, des dissolutions de différents métaux, dans quel rapport se trouvaient les quantités de métal réduit. Nous avons introduit dans le circuit trois dissolutions, l'une de cuivre, l'autre d'argent et la troisième de zinc. Ces dissolutions se trouvaient dans des tubes en U, et chacune d'elles était en contact, du côté positif, avec une lame de platine, et du côté négatif avec une lame du métal qui se trouvait dans la dissolution. Le tout était soumis à l'action d'un appareil composé de deux couples préparés comme il a été dit ci-dessus. Voici les résultats que nous avons obtenus :

L'intensité du courant faisait équilibre à un poids de $0,^{gr}005$.

Après 24 heures d'expérience, l'argent précipité pesait $0,^{gr}0305$; le poids du cuivre précipité $0,^{gr}0090$; le poids du zinc précipité $0,^{gr}00912$. Or, si l'on cherche le rapport des trois quantités de métal précipité, on trouve qu'elles sont proportionnelles aux poids atomiques de l'ar-

gent, du cuivre et du zinc, puisque que si l'on considère les deux premières, on a 305 : 90 :: 108 poids atomique de l'argent : 31,8, au lieu de 31,6 poids atomique du cuivre. De même 3050 : 912 :: 108 : 32,3, au lieu de 32,5 trouvé par M. Faraday. On voit donc que l'appareil à courant constant, composé seulement de deux couples, avec la balance électro-magnétique, a permis de vérifier la loi relative à la nature définie de la décomposition électro-chimique, en tenant compte de l'intensité de la force qui a produit la décomposition.

CHAPITRE II.

DE L'INFLUENCE PAR INDUCTION D'UN COURANT ÉLECTRIQUE SUR LUI-MÊME, ET DE L'ACTION INDUCTIVE DES COURANTS EN GÉNÉRAL.

1261. On sait que lorsque l'on réunit les deux pôles d'une pile, composée d'un petit nombre d'éléments, avec un conducteur métallique de peu de longueur, on n'obtient qu'une faible étincelle à l'instant où l'on rompt le circuit. On n'éprouve également qu'une légère secousse si le corps fait partie du circuit. Ces deux effets s'affaiblissent encore si le conducteur s'allonge et reste développé. Il n'en est plus de même lorsque ce fil est enroulé en hélice à spires serrées, chaque spire étant séparée l'une de l'autre avec de la soie. Dans ce cas, l'étincelle est plus intense et plus prolongée, et la secousse devient plus forte. L'action est encore augmentée quand on introduit dans l'hélice un barreau de fer doux.

Les effets observés dans cette circonstance paraissent avoir été aperçus pour la première fois par M. le professeur Henry, de Philadelphie, puisqu'il en est fait mention dans le *Journal des Sciences américain*, pour juillet 1832, tandis qu'il n'est rapporté dans le *Journal des Sciences de Londres et d'Édimbourg* que pour 1834.

M. Jenkins s'en est occupé ensuite, puis M. Faraday les a étudiés d'une manière approfondie.

Voici comment M. le professeur Henry a décrit le fait qu'il paraît avoir observé le premier :

« Quand on excite modérément une petite batterie « par une solution acide, et qu'on unit ses pôles terminés « par des coupes de mercure au moyen d'un fil de cuivre « n'ayant pas plus d'un pied de long, on n'aperçoit pas « d'étincelle en établissant ou en interrompant le con- « tact; mais si l'on se sert d'un fil de 30 ou 40 pieds de « long au lieu d'un fil court, quoiqu'il n'y ait pas d'étin- « celle perceptible quand on fait la réunion, cependant si « l'on rompt le contact en enlevant une des extrémités « du fil hors de la coupe de mercure, il se produit une « vive étincelle.

« Si l'action de la batterie est très-intense, avec un « fil court on obtiendra une étincelle; dans ce cas il suffit « seulement d'attendre quelques minutes jusqu'à ce que « l'action partielle s'arrête ou qu'il n'y ait plus d'étin- « celles; si l'on substitue alors le fil long, on obtiendra « de nouveau une étincelle. L'effet paraît quelque peu « augmenté si l'on enroule le fil autour d'une hélice; il « paraît aussi dépendre, jusqu'à un certain degré, de la « longueur et de l'épaisseur du fil. Je ne peux rendre « compte de ces phénomènes qu'en supposant que le long « fil se charge d'électricité qui, par sa réaction sur « elle-même, projette une étincelle à la rupture du con- « tact (1). »

1262. M. Faraday a fait usage, pour analyser ces effets qui n'avaient été qu'aperçus, d'un couple voltaïque composé d'un cylindre de zinc, placé entre les deux parties d'un double cylindre de cuivre, séparé du premier au moyen de morceaux de liége. Deux coupes, remplies de mercure, servaient à établir la communication entre les deux cylindres de cuivre et de zinc. Il a préparé des conducteurs composés de fils métalliques longs ou courts, d'hélices de plusieurs espèces et d'aimants électro-magnétiques.

La première hélice I qu'il a employée était formée

(1) Journal de Sillimau, vol. XXII, p. 408.

d'un tube de carton, autour duquel étaient enroulés quatre fils de cuivre de $\frac{1}{24}$ de pouce anglais de diamètre, et de 48 à 49 pieds de longueur. Chaque spire était séparée l'une de l'autre avec un morceau d'étoffe isolante. La première et la troisième, réunies, formaient un circuit de 96 pieds; la deuxième et la quatrième, un autre circuit de 94 pieds, 5.

La seconde hélice II était construite également sur un cylindre de carton, avec deux fils de cuivre de même diamètre que le précédent et d'une longueur de 46 pieds.

Enfin la troisième III était préparé aveec un fil de cuivre de $\frac{1}{5}$ de pouce de diamètre et de 76 pieds de long.

L'aimant électrique destiné à produire les phénomènes d'induction consistait en une barre cylindrique de fer doux, de 25 pouces de long et de 1 pouce $\frac{3}{4}$ de diamètre, recourbée en anneau, de manière que les deux extrémités se touchaient presque; autour de chacune d'elles étaient enroulés trois gros fils de cuivre recouverts; au besoin, les extrémités semblables étaient réunies ensemble pour former un seul fil ayant trois fois l'épaisseur du fil simple.

Voyons actuellement les effets généraux et particuliers que l'on obtient quand on complète la communication entre les deux éléments de l'appareil voltaïque avec un des conducteurs précédents, d'abord avec l'aimant électrique : on obtient dans ce cas des étincelles longues et brillantes, à l'instant seulement où l'on interrompt la communication.

La première hélice ou la troisième donne également l'étincelle, lors de l'interruption. Pour obtenir un choc, faible à la vérité, M. Faraday a été forcé de réunir ensemble les extrémités semblables des hélices première et deuxième, afin d'avoir une hélice de même longueur, double en épaisseur. Le pouvoir de produire l'étincelle et la commotion existe donc dans une hélice simple comme dans l'aimant, quoiqu'à un degré moindre.

Pour montrer la supériorité de l'hélice sur les autres

modes de communication, M. Faraday a pris un fil de cuivre de 67 pieds de long; l'ayant recourbé par le milieu, l'une des moitiés fut enroulée en hélice et l'autre resta droite; puis il employa chacune de ces moitiés comme fil de communication : l'hélice donna les plus fortes étincelles.

Un fil court, de 2 à 3 pouces, ne donna rien de semblable; à peine l'étincelle fut-elle visible à la disjonction.

En prenant un fil de cuivre de 114 pieds de long et de $\frac{1}{16}$ de pouce de diamètre, M. Faraday a obtenu une brillante étincelle à la rupture du circuit, quand il croisait le fil de manière que les deux bouts se trouvassent en contact près de leurs extrémités; la température s'élevait alors beaucoup, tandis que l'étincelle à la rupture du contact était à peine sensible.

La force additionnelle que reçoivent les circuits provient évidemment d'une propriété du courant, soit permanente, soit momentanée, que possède le fil même, puisque M. Faraday s'est assuré qu'aucun changement ne survient dans la quantité ou l'intensité du courant dans le cours de l'expérience, autre que la perte qu'il doit éprouver en traversant un fil long ou un fil court.

Au reste, l'expérience suivante prouve que, quel que soit le mode d'expérimentation, le courant permanent perd en force dans la proportion que les effets s'exaltent, quand on interrompt le contact. Si l'on soude un fil fin de platine de 1 à 2 pouces de long au long fil de communication et un fil semblable de platine aux deux extrémités du fil court, on trouve, en établissant et interrompant la communication avec le platine et le mercure de l'une des deux coupes, qu'avec le fil court le platine est enflammé par le courant, pendant qu'il chemine, en raison de la quantité d'électricité fournie; tandis que l'étincelle à la rupture du contact est à peine visible. Avec le fil long, qui diminue la vitesse du courant, la température ne change pas sensiblement tant que circule le courant, et l'on n'obtient une étincelle bril-

lante qu'à l'instant de l'interruption. Il résulte de là que la diminution dans l'étincelle et le choc, ayant lieu avec le courant le plus énergique et l'augmentation avec le courant le plus faible, l'étincelle et le choc, au moment de la disjonction, ne doivent pas être considérés comme des indications directes de l'intensité ou de la quantité de l'électricité mise en mouvement.

1263. Les faits que nous venons de mentionner tendent bien à prouver que l'étincelle brillante que l'on obtient avec l'appareil voltaïque, et la commotion que l'on ressent dans les bras, lorsqu'on emploie le long fil pour opérer la décharge, proviennent de ce que le courant qui traverse ce fil est divisé en deux autres qui passent, l'un à travers le corps, l'autre à travers l'appareil, en vertu d'une action développée immédiatement dans le fil de communication, et qui serait telle qu'avec un fil meilleur conducteur, la totalité du double courant passerait par le premier conducteur; voici comment M. Faraday a prouvé l'existence de ce courant secondaire: Soient (fig. 9) Z et C les pôles de l'appareil voltaïque; G et E les coupes remplies de mercure, avec lesquelles le contact est établi; A et B les bouts du long fil D, disposé en hélice ou en aimant électrique; N et P deux fils recourbés, qui peuvent être mis en contact en x, ou en relation avec un appareil décomposant.

L'expérience montre, comme nous l'avons déjà dit, qu'on éprouve une commotion par l'effet du courant qui traverse le fil croisé, quel que soit l'état de D; quant à l'étincelle, elle se montre en x de la manière suivante : supposons que D représente un aimant électrique, et que les extrémités en x du fil croisé se joignent entre elles ou glissent l'une sur l'autre, pendant que le contact est rompu en G ou E. Lorsque la communication est établie en x, on n'aperçoit à la solution de continuité, en G ou E, qu'une faible étincelle, ou rien du tout. Si le rapprochement est suffisant en x pour la manifestation des effets, on aperçoit en ce point une brillante étincelle au moment de la disjonction, et

aucune lueur en G ou E. Cette étincelle indique évidemment le passage du courant secondaire à travers les fils croisés. Quand le courant ne passe pas en x, ce qui arrive lorsque les fils N et P ne se touchent pas, l'étincelle se montre alors en G ou E, de sorte que le courant secondaire se fraye un chemin à travers l'électro-moteur même. Les résultats sont les mêmes si l'on substitue en D, à l'aimant électrique, une hélice ou un fil étendu.

Si l'on place un fil fin de platine en x, et un aimant électrique en D, il ne se produit rien; mais aussitôt que l'on rompt le contact en G ou E, le fil fin est brûlé et fondu instantanément. Cet effet est plus difficile à obtenir avec une hélice ou un fil tendu.

1264. On effectue la décomposition chimique avec le courant passant dans le fil croisé, en plaçant en D un aimant électrique, et en x une bande de papier humectée d'une solution d'iodure de potassium.

M. Faraday a trouvé que le pouvoir conducteur du système de communication A B D était suffisant pour transmettre tout le courant primitif, et qu'il n'y avait par conséquent aucune action chimique en x tant que le contact était maintenu en G et en E, mais qu'aussitôt que le courant était rompu, il y avait instantanément décomposition en x. L'iode apparaissait sur le fil P, ce qui annonçait que le courant à travers les fils croisés, dès l'instant que le contact était interrompu, cheminait dans une direction inverse de celui qui provenait de l'électro-moteur.

Dans cette expérience, on apercevait une brillante étincelle à l'endroit de la disjonction, laquelle indiquait qu'il n'y avait qu'une portion du courant secondaire qui passait en x, à cause du faible pouvoir conducteur de cette partie. On n'a obtenu que de très-faibles actions chimiques avec les hélices simples et les fils non enroulés.

1265. Les expériences suivantes servent encore à montrer les effets des courants secondaires : Un multiplica-

teur fut placé en x, un aimant électrique en D, et le contact fut maintenu. La déviation de l'aiguille aimantée indiqua aussitôt un courant de P en N, de sorte que le fil croisé servait à transmettre une portion de l'électricité provenant de l'électro-moteur, tandis que la plus grande partie circulait dans B D A. L'aiguille aimantée ayant été remise dans sa position naturelle au moyen de deux barreaux placés à ses extrémités, fut déviée fortement dans une direction opposée quand la communication fut interrompue en G ou en E. On voit donc, d'après les effets chimiques et les effets produits sur l'aiguille aimantée, que le courant secondaire suit dans les fils croisés une direction contraire à celle du courant produit par l'électro-moteur.

1266. M. Faraday a établi la différence qui existe, sous le rapport de la quantité, de l'intensité et même de la direction, entre le courant primitif et le courant secondaire ou courant induit, et est parvenu même à séparer ces deux courants l'un de l'autre de la manière suivante :

L'une des doubles hélices I, indiquées ci-dessus, fut disposée de manière à pouvoir servir de fil de communication entre les plaques de l'électro-moteur; l'autre double hélice II se trouvait en dehors du courant, et ses extrémités sans connexion. La première fonctionnait très-bien et donnait une belle étincelle au moment et à l'endroit de la disjonction. Les extrémités opposées de la seconde hélice II ayant été réunies, l'hélice I restant toujours la même, aucune étincelle ne put être obtenue de cette dernière à l'endroit de la disjonction. Les extrémités de l'hélice II furent tellement rapprochées l'une de l'autre qu'aucun courant traversant cette hélice ne pouvait produire d'étincelle, on en obtint alors une de la seconde, lorsque l'on interrompait la communication de la première avec l'électro-moteur.

Un galvanomètre et un appareil décomposant ayant été placés dans le circuit formé par l'hélice I I, on obtenait facilement la déviation de l'aiguille aimantée et la

décomposition produite avec le courant induit provenant de la rupture du contact de l'hélice I, ou de celle qui avait lieu lorsqu'on établissait le contact entre cette hélice et l'électro-moteur.

Des effets semblables furent obtenus avec deux longs fils étendus, n'ayant plus la forme d'hélice, mais placés très-près l'un à côté de l'autre. Il résulte de là que le courant secondaire peut être porté d'un fil conducteur à un fil voisin, et qu'il est absolument identique avec le courant induit.

L'étincelle brillante et le choc que l'on a obtenus lors de la disjonction peuvent donc être expliqués ainsi : si l'on transmet un courant dans un fil, et qu'un autre fil formant un circuit fermé soit placé parallèlement au premier, à l'instant où le courant se manifeste dans celui-ci, il s'établit un courant suivant la même direction dans le second, et le premier ne produit plus alors qu'une faible étincelle; mais si le second fil est enlevé, la disjonction du premier produit un courant dans la même direction, accompagné d'une forte étincelle; tandis que le courant, induit dans le second, produit une forte étincelle lors de la disjonction. On voit par là que l'étincelle obtenue dans le long fil ou l'hélice, à l'instant de l'interruption, est la même que celle qui proviendrait du courant produit dans un fil voisin, si on laissait passer un semblable courant.

1267. On peut expliquer maintenant les effets que l'on a obtenus avec les fils courts, les fils longs, les hélices et les aimants électriques : si l'on observe, par exemple, l'action inductive d'un fil d'un pied de long sur un fil voisin de même longueur, on la trouve très-faible ; mais si l'on porte leur dimension jusqu'à 50 pieds, on a dans le fil voisin un courant beaucoup plus puissant au moment de la rupture du contact; dans ce cas chaque partie de la longueur du fil ajoute quelque chose à la somme de l'action. On obtient encore le même résultat quand le fil conducteur est celui dans lequel se forme le courant induit; on voit par là pourquoi un long fil

donne, à la rupture du circuit, une étincelle plus brillante qu'un fil court qui conduit mieux l'électricité. Quand le fil est transformé en hélice, les effets sont plus énergiques, parce que l'action mutuelle inductive de chacune des circonvolutions aide celle qui l'avoisine et réciproquement, ce qui fait que la somme des effets est considérablement augmentée.

Avec un aimant électrique, l'effet est encore plus fort, attendu que le fer, rendu magnétique par le pouvoir d'un courant continu, perd son magnétisme dès que celui-ci cesse de passer, d'où résulte un courant électrique dans le fil qui l'entoure, semblable à celui que la cessation du courant dans l'hélice tend à produire.

On peut expliquer, en s'appuyant sur les lois d'induction, pourquoi, lorsque l'on double un long fil de manière que le courant ait dans les deux parties des directions opposées, il n'y a pas d'étincelle à l'instant de la disjonction, et qu'au contraire, lorsque deux courants, dirigés dans le même sens, sont simultanément arrêtés, ils s'aident l'un l'autre par leur influence mutuelle.

1268. M. Faraday a cru devoir conclure de plusieurs expériences, que nous ne rapportons pas ici, 1° que l'intensité et la quantité de l'électricité en mouvement dans un courant sont plus faibles quand le courant commence, ou s'accroît, et plus grandes quand il diminue, qu'elles ne le seraient si l'action inductive produite dans cet instant n'avait pas lieu; 2° que les forces inductives paraissent être latérales, c'est-à-dire, qu'elles sont développées dans une direction perpendiculaire à celle des courants primitifs, de sorte qu'elles peuvent être représentées par les courbes magnétiques. Si l'on prend un fil sans fin, on peut produire un courant qui circule autour du circuit sans ajouter aucune électricité à celle qui était primitivement dans le fil. Autant que l'on peut en juger, l'électricité qui est sous forme de courant, provient de celle qui était en repos dans le fil. Quelle que soit la différence qui existe entre ces deux électricités, sous

[illegible]

CHAPITRE III.

FFFETS PHYSIOLOGIQUES PRODUITS PAR DES COURANTS INTERROMPUS.

1270. M. Masson, professeur de physique au collége de Caen, a étudié plus complétement qu'on ne l'avait fait encore, les effets physiologiques des secousses fréquemment répétées. Ce physicien s'est servi à cet effet d'une roue dentée, d'un rayon assez grand, à laquelle on imprime un mouvement de rotation à l'aide de la corde sans fin d'un rouet. Cette roue est métallique, ainsi que son axe, ses tourillons et les coussinets sur lesquels ils reposent. L'un des coussinets communique avec l'un des pôles de la pile, l'autre avec une main de la personne soumise à l'expérience. De l'autre main on saisit fortement l'un des bouts d'une hélice enroulée sur un cylindre de fer doux, et en communication par l'autre bout avec le second pôle de l'appareil voltaïque. D'après cette disposition, le circuit est formé de l'appareil voltaïque, de l'hélice, du corps de l'expérimentateur et de l'axe de la roue dentée. Le courant ne s'y manifeste pas quand l'hélice est composée de 4 ou 500 mètres de fil; il n'en est plus de même quand le corps humain cesse de faire partie du circuit, c'est-à-dire lorsque celui-ci est tout métallique. Cette condition est remplie quand le premier bout de l'hélice que l'expérimentateur tient à poignée est terminé par une lame de ressort aplati qui, maintenue à sa naissance par un appui fixe, va presser

par son extrémité libre une dent de la roue de métal. Aussitôt que la roue commence à tourner, ce circuit, qui est tout métallique, se trouve interrompu à l'instant où la dent pressée échappe au ressort qui la touche; alors le premier circuit, celui dont l'expérimentateur fait partie, subsiste seul et donne naissance à une vive secousse. La roue continuant à tourner, une nouvelle dent vient toucher le ressort, et à l'instant où elle s'échappe, on éprouve une secousse aussi vive que la première fois. On conçoit parfaitement que la roue tournant d'une manière uniforme, le même phénomène se reproduit d'une manière périodique au passage de chaque dent.

Toutes les fois que le mouvement de la roue est peu rapide et que les contacts des dents avec le ressort se succèdent lentement, on éprouve de très-vives secousses. Quand le mouvement est suffisamment accéléré, la sensation devient continue et se change en une contraction douloureuse, en une torsion des bras qui ne permet pas à l'expérimentateur d'abandonner les conducteurs métalliques.

On est parvenu à tuer un chat, en 4 ou 5 minutes, en le soumettant aux décharges rapidement répétées d'une pile composée de quelques éléments seulement; les muscles de l'animal se trouvaient alors dans un état tétanique qui se manifeste toujours quand les effets électriques sont exaltés.

M. Masson a reconnu que, si le mouvement de la roue est très-rapide, la sensation diminue par degrés et finit par disparaître entièrement; dans ce cas les choses se passent comme si le circuit était métallique, c'est-à-dire, comme s'il n'était pas interrompu.

CHAPITRE IV.

PROCÉDÉ POUR RECONNAITRE S'IL Y A SOLUTION OU COMBINAISON CHIMIQUE DANS LE CONTACT D'UN SEL ET DE L'EAU, ET DESCRIPTION DE L'HYGROMÈTRE THERMO-ÉLECTRIQUE.

1271. M. Peltier, pour résoudre cette question, qui avait déjà été abordée par nous (29, etc.), emploie les courants électriques produits dans les réactions chimiques et les changements de température.

On sait que lorsque les acides se combinent avec les alcalis, les effets électriques sont tels, en général, que l'électricité positive va de l'alcali à l'acide, et l'électricité négative de l'acide à l'alcali.

Il en est de même dans la combinaison de deux corps, celui qui joue le rôle d'acide prenant en général à l'autre l'électricité positive. Quand il y a simplement solution, on n'observe rien de semblable, comme nous l'avons prouvé il y a quatorze ans. Pour reconnaître s'il y a combinaison ou solution, au moyen des effets électriques, on opère de la manière suivante :

On attache deux capsules en platine aux extrémités du fil d'un multiplicateur de 3,000 tours, puis on établit la communication entre elles au moyen d'une mèche d'asbeste, d'un siphon en verre, ou bien en les rapprochant suffisamment pour qu'il n'y ait entre elles qu'un intervalle capillaire, qu'on remplit avec une goutte d'eau. Dans l'une des capsules on verse de l'eau distillée, et dans l'autre la solution qu'on veut examiner; si le corps

est solide et qu'on veuille reconnaître ce qui se passe au moment même de la désagrégation des particules, on remplace une des capsules par une pince en platine, entre les branches de laquelle on place ce corps, dont on plonge une partie dans l'eau de l'autre capsule. Les courants électriques indiquent alors s'il y a combinaison ou non; mais comme il y a en même temps élévation ou abaissement de température, M. Peltier a mis à profit ces effets pour décider l'alternative.

1272. Pour mesurer la température, ce physicien fait usage d'un appareil qui, en raison de sa grande sensibilité, remplit les fonctions d'un bon hygromètre. Il se compose d'un support de plusieurs couples thermo-électriques bismuth et antimoine, dont le nombre est au moins de trois, afin de former un trépied, dont les extrémités supérieures touchent la capsule qu'on pose dessus. On peut augmenter ce nombre jusqu'à huit ou dix; mais la difficulté de mettre en contact immédiat chacun des couples avec la capsule, en rend l'exécution très-difficile; la capsule elle-même n'étant pas bien sphérique, laisse des intervalles entre sa paroi extérieure et certains couples qui, alors n'étant plus actifs, ne font plus qu'altérer la conductibilité du circuit total. Les éléments de ces couples ne se placent pas comme dans les piles ordinaires; ils doivent être mis l'un à côté de l'autre en forme de couronne, afin de faciliter le contact de chacun d'eux avec la capsule. Cette petite pile est en relation avec un multiplicateur dont les proportions varient comme les couples qui la composent. Avec trois couples on emploie un multiplicateur de 38 tours, formé d'un fil de cuivre ayant $2^{mil.},6$ de section; pour les piles de cinq couples, un autre de 80 tours d'un fil de moindre diamètre, et enfin de 150 tours pour celles de dix couples. Cette pile, soutenue à quelques centimètres de hauteur par une tige vissée dans un socle, est parfaitement abritée des rayonnements calorifiques des corps voisins et des courants d'air qui pourraient influer inégalement sur la température des soudures. On les entoure de deux tubes en carton ou en ivoire, laissant un vide

d'un centimètre entre la pile et le premier tube, et un pareil vide entre ce tube et le second, chacun d'eux bien clos dans la partie inférieure avec une bande de papier collé; le second tube est fermé à sa partie supérieure par un disque en papier percé d'un trou assez grand pour laisser toucher la pile par la capsule, et en même temps pour clore l'intérieur en circonscrivant la capsule par son milieu. La fig. 10 donne une idée de l'appareil :

A. Disque en bois pour soutenir les couples, et auquel on visse la tige qui le supporte et le fixe au socle.

B, B, B. Trois couples bismuth et antimoine, formant le support thermoscopique.

C. Multiplicateur.

D, D. Capsule en platine remplie d'eau distillée, qui doit être placée sur les couples.

E, E. Cylindre de carton.

F, F. Récipient.

Lorsqu'on veut employer cet appareil comme hygromètre, on recouvre le tout d'un récipient à douille, afin de laisser un libre accès à l'air, tout en interceptant les courants qui augmenteraient l'évaporation en dehors. Ce récipient est lui-même entouré d'une chemise en papier afin d'arrêter les effets du rayonnement. On met de l'eau distillée dans la capsule, et la seule évaporation spontanée produit un abaissement de température qui varie ordinairement de 40 à 60°. Cet hygromètre est fondé sur le même principe que celui de Leslie, c'est-à-dire, sur le refroidissement produit par l'évaporation spontanée d'un liquide. L'eau du vase s'évapore moins dans les temps secs que dans les temps humides, il s'ensuit que les soudures supérieures de la pile sur lesquelles repose la capsule se refroidissent moins dans le premier cas que dans l'autre; l'intensité du courant thermo-électrique peut servir alors à apprécier la différence de l'évaporation.

Ces appareils étant fort sensibles, l'aiguille du multiplicateur arrive rapidement à 90°; pour parer à cet inconvénient, on place dans le circuit des conducteurs supplémentaires qui diminuent l'intensité du courant et ramènent l'aiguille vers les vingt premiers degrés; on forme ensuite des tables qui donnent les rapports entre les déviations de l'aiguille aimantée, les intensités du courant et les différences de température qui leur donnent naissance; on a ainsi une échelle fort étendue, qui peut commencer à 150° au-dessus de zéro, et s'abaisser d'une manière indéfinie. Pour comparer cet instrument, on n'a besoin que de connaître l'extrême sécheresse qu'on produit avec du chlorure de calcium, placé sous un récipient bien clos; quand la saturation de l'air ne produit plus de vaporisation, la capsule reste à la température ambiante et l'aiguille à zéro. Dès lors lorsqu'on a déterminé la force correspondante au nombre de degrés donnés par l'extrême sécheresse, on divise cette force en cent parties correspondantes aux cent degrés des hygromètres ordinaires, et l'on peut ainsi toujours leur comparer les degrés que l'on a trouvés.

L'appareil que nous venons de décrire peut servir avec avantage pour étudier les changements de température qui ont lieu dans les actions chimiques; mais il faut pour cela que la capsule qui repose sur la pile thermo-électrique soit une des deux qui se trouvent dans le circuit électro-chimique précédemment décrit. Au moyen de cet arrangement l'appareil renferme deux multiplicateurs.

Pour savoir s'il y a combinaison ou simplement solution à l'instant où deux liquides, dont l'un est de l'eau distillée, sont en contact, M. Peltier a fait un grand nombre d'expériences, dont les résultats sont consignés dans le tableau qu'on trouvera ci-après: nous rappellerons qu'il y a solution quand il y a production de froid, et combinaison quand il y a dégagement de chaleur.

1273. Pour reconnaître les effets électriques qui se manifestent quand on élève ou qu'on abaisse la température d'un liquide, on verse de l'eau distillée dans les

deux capsules réunies par l'un des trois moyens indiqués plus haut et en relation également avec un multiplicateur électro-chimique, puis on chauffe l'une d'elles. On trouve que pendant tout le temps que la température s'élève, il y a un courant positif marchant de l'eau chaude à l'eau froide, et que pendant le temps que le refroidissement s'opère le courant suit une direction inverse. Cet effet du renversement du courant a lieu avec les alcalis et avec tous les corps qui se comportent comme tels. Les substances, au contraire, qui se comportent comme les acides, ne présentent pas cette inversion dans le sens du courant : l'acide froid joue toujours le rôle d'alcali, et l'acide chaud le rôle d'acide.

Cet effet produit dans la réaction de deux substances homogènes ne différant que par leur température, est-il dû à une combinaison chimique ou à une action thermo-électrique? Pour décider l'alternative, il faut se rappeler que les courants thermo-électriques étant produits par de l'électricité à faible tension et la moindre résistance les affaiblissant, pour constater leur existence il faut employer les multiplicateurs à fils les plus courts. Dans les expériences ci-dessus, les deux capsules remplies d'eau distillée étaient réunies par une mèche d'asbeste humectée de la même eau, et le multiplicateur était composé d'un fil fin de 3,000 tours, ce qui forme un circuit nullement favorable aux courants thermo-électriques : mais pour ne point laisser de doutes sur la cause du phénomène, on a remplacé le long multiplicateur par un autre de 150 tours, et le courant est tombé de 40 à 3°, résultat contraire aux effets thermo-électriques.

Ces effets, et d'autres que nous ne rapporterons pas ici, montrent bien que le phénomène électrique qui a lieu dans le mélange de l'eau chaude avec l'eau froide a bien une origine chimique; mais quelle est la nature de l'action produite dans cette circonstance? C'est ce que nous ignorons.

NOM DES SUBSTANCES.	SENS DU COURANT dirigé de l'eau vers la substance.	SOLUBILITÉ et dilution.	TEMPÉRATURE en degrés galvanométriques.	CLASSIFICATION des corps sous le point de vue des deux caractères physiques.
Acide sulfurique	Une seule goutte donne 90° +	Très-grande	Chaleur maximum. 90°	— Id.*
Id. nitrique	Cinq gouttes 70° +	Id.	Chaleur 70°	— Id.
Id. acétique	1/4 d'acide 30° +	Id.	Id. 10°	— Id.
Id. borique	Faible courant 5° +	Faible	Froid 50°	— Id.
Proto-chlorure d'antimoine	35° +	Assez soluble	Chaleur 60°	— Id.
Nitrate de bismuth	35° +	Très-soluble	Froid 50°	— Id.
Sulfate de cuivre	30° +	Faible	Id. 10°	— Id.
Dissolution d'iode	20° +	Id.	0	— Id.
Acétate de plomb	10° +	Très-soluble	Froid 20°	— Id.
Sulfate de zinc	5° +	Id.	Id. 60°	— Id.
Chlorhydrate de strontiane	10° +	Id.	0	— Id.
Chlorure de plomb	0° à froid 5° + à chaud.	Faible	Très-faible froid 2°	— Id.
Solution chaude de nitrate d'ammoniaque	5° +	Très-soluble	0	— Id.
Sucre ordinaire	5° +	Id.	Froid 10°	— Id.
Alcool	5° +	Id.	Chaleur 40°	— Id.
Acide sulfo hydrique	1/3 d'acide 30° —	Très-grande	Id. 5°	+ Id.**
Id. hydro-chlorique	Id. 30° —	Id.	Id. 50°	+ Id.
Id citrique	Extrêmement faible 2° —	Très-soluble	Froid 40°	+ Id.
Id. tartrique	Id.	Faible	Id. 15°	+ Id.
Id. benzoïque	Id.	Id.	Id. 5°	+ Id.
Id. oxalique	Id.	Id.	Id. 50°	+ Id.
Potasse	80° —	Très-soluble	Chaleur 70°	+ Id.
Soude	Id. —	Id.	Id. Id.	+ Id.
Chaux	30° —	Faible	Id. 70°	+ Id.
Sous-carbonate de potasse	30° —	Très-soluble	Froid 70°	+ Id.
Iodure de potassium	20° —	Id.	Id. 80°	+ Id.
Nitrate de potasse	10° —	Id.	Id. Id.	+ Id.
Sulfate de potasse	5° —	Faible	Id. 45°	+ Id.
Oxalate acidule de potasse	0° à froid 5° — à chaud.	Lent	0	+ Id.
Chlorhydrate d'ammoniaque	4° —	Très-soluble	Froid 80°	+ Id.
Nitrate d'ammoniaque	3° —	Id.	Id. 90°	+ Id.
Alun à base d'ammoniaque	4° —	Lentement	Id. 5°	+ Id.
Cyanure de potassium	30° —	Soluble	Id. 30°	+ Id.
Chlorure de sodium hydraté	30° —	Id.	Id. 60°	+ Id.

* Corps qui se comportent comme acides.

** Corps qui se comportent comme un alcali.

Les résultats consignés dans ce tableau montrent que l'on peut diviser les corps en trois sections : la première comprend les corps qui ne donnent aucun signe, ou des signes faibles d'électricité, soit dans leur désagrégation, soit dans leur dilution : ce sont ceux qui donnent le plus d'abaissement de température, en ayant égard à leur degré de solubilité ; la deuxième, les corps qui donnent des courants suffisants pour avoir une élévation de température qui diminue ou neutralise le refroidissement de leur liquéfaction ; et enfin la troisième renferme les corps dont les courants indiquent une combinaison assez intense pour élever la température du liquide : ainsi le nitrate d'ammoniaque fait partie de la première section ; la solution d'iode et le chlorure de plomb font partie de la seconde ; les acides sulfurique, nitrique..., les alcalis, font partie de la troisième. La seconde et la troisième section peuvent être divisées en deux classes : l'une contenant les corps qui se comportent comme les acides servant de types, et l'autre contenant les corps se comportant comme les alcalis types.

CHAPITRE V.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES COURANTS MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

1274. M. Auguste Delarive vient récemment de publier des recherches intéressantes sur les propriétés des courants magnéto-électriques. Il a commencé d'abord par étudier l'influence qu'exerce sur l'intensité de leurs effets la vitesse plus ou moins grande avec laquelle ils se succèdent. Il a trouvé que lorsqu'on introduit dans le circuit un thermomètre métallique convenablement disposé, le thermomètre de Breguet, l'hélice s'échauffe de 7°, quand il n'y a que deux courants alternativement contraires par seconde, qu'elle s'échauffe de 55° quand il y a neuf courants, de 100° quand il y en a 20, de 133 quand il y en a 40, et que l'on finit par faire rougir un fil fin de platine quand on augmente suffisamment le nombre de courants.

1275. Les effets chimiques sont soumis à la même influence; mais si l'on dépasse une certaine limite, la décomposition se ralentit. M. Delarive a trouvé, par exemple, que pour obtenir la même quantité de gaz dans la décomposition de l'eau, il faut :

1050 courants quand il y en a	14	par seconde.
462	28	
442	42	
400	47	
494	52	

Ces nombres nous indiquent que l'influence de la vitesse avec laquelle les courants se succèdent, ne consiste pas seulement en ce qu'il y a un plus grand nombre de courants dans un temps donné, mais surtout en ce que l'intensité individuelle de chaque courant éprouve une augmentation considérable. C'est principalement dans les effets physiologiques que l'on observe l'influence de la vitesse dans la succession des courants. Ces effets sont beaucoup plus énergiques que ceux qui sont produits par les courants voltaïques, et dépendent très-probablement de la discontinuité et de la direction alternativement contraire des courants.

Quand on fait passer les courants magnéto-électriques dans des conducteurs métalliques et liquides, on trouve que la résistance que ces courants éprouvent, quand on augmente la longueur du circuit, quelle que soit leur nature, est considérable et bien plus grande que celle qu'éprouvent les autres espèces de courants. Il n'en est plus de même si le conducteur est hétérogène : la résistance paraît au contraire moindre. De l'eau acidulée conduit les courants qui nous occupent tout aussi bien lorsqu'elle est partagée en deux ou plusieurs compartiments par des diaphragmes de platine, que lorsqu'elle forme une masse continue.

M. Delarive, en étudiant l'influence qu'exercent sur les courants magnéto-électriques l'étendue et la forme du conducteur métallique qui sert à transmettre ces courants dans le liquide, a trouvé que les gaz qui se développent avec abondance, lorsque les conducteurs métalliques sont des lames étroites ou de simples fils, ne se dégagent que peu ou point quand ces conducteurs, toutes choses égales d'ailleurs, sont des lames dont la surface présente une étendue un peu considérable de 4 à 8 centimètres carrés au moins. Il s'est servi pour cela de solutions acides à différents degrés de concentration, de fils et de lames de platine : il avait placé le thermomètre métallique dans le circuit. A mesure qu'on enfonçait la lame dans le liquide, le dégagement de gaz diminuait,

tandis qu'avec un fil la quantité de gaz augmentait ainsi que la température dans l'hélice. Dès l'instant que la lame en contact avec l'acide sulfurique, étendu de neuf fois son volume d'eau, était de 450 millimètres carrés, il n'y avait plus aucun dégagement de gaz : on avait alors atteint la limite d'accroissement dans l'intensité du courant transmis, de sorte qu'il n'y avait plus ni chaleur dans l'hélice, ni dégagement de gaz quand on enfonçait la lame.

Avec un liquide plus conducteur, et avec des lames de platine d'une plus grande surface, on élevait la température de l'hélice à 93°, sans qu'on pût observer la moindre décomposition dans l'eau acidulée.

Ces résultats semblent indiquer que les effets chimiques et les effets calorifiques des courants magnéto-électriques n'ont lieu qu'autant que ces courants sont gênés dans leur passage, et là où ils éprouvent cette gêne.

Il n'en est pas de même avec les courants voltaïques, attendu que la quantité de l'électricité produite dans les piles est si considérable que jamais elle ne peut s'écouler entièrement par les conducteurs qui réunissent leurs pôles. Aussi, lorsque ces conducteurs sont des liquides, quelle que soit l'étendue des surfaces métalliques qui plongent dedans, le courant éprouve toujours une gêne d'où résulte une décomposition chimique.

1276. Un courant magnéto-électrique transmis à travers de l'eau acidulée placée dans le circuit, au moyen de deux grandes lames de platine, élève la température de l'hélice à 82°. Sans rien changer à l'expérience, si l'on réunit les deux lames de platine avec un fil métallique, un fil d'argent *ab* par exemple (fig. 11), cette double voie qui facilite le passage du courant ne change rien à son effet, qui continue à élever de 82° la température de l'hélice du thermomètre. Le fil employé avait un demi-millimètre de diamètre et 45 centimètres de longueur. Si l'on donne une plus grande longueur au fil, la température de l'hélice s'abaisse, et parvient à un minimum de 67° quand le fil a une longueur de 4 mètres. Si l'on allonge

encore davantage le fil, l'hélice se réchauffe de nouveau, et revient à 82° quand on lui a donné une longueur de 12 mètres.

De ces résultats et d'autres analogues, que nous ne rapportons pas, M. Delarive en a tiré les deux principes suivants, 1° qu'un courant dirigé dans le même sens qu'un autre peut ou augmenter ou diminuer l'intensité du second, suivant les rapports qui existent entre les chemins qu'ils ont parcourus l'un et l'autre, quand, en partant de la même source, ils arrivent au même point; 2° que pour produire les mêmes effets sur un courant qui parcourt toujours le même chemin, le chemin parcouru par l'autre doit être d'autant plus long qu'il est plus conducteur. On aperçoit facilement que les phénomènes que nous venons de décrire, s'ils sont bien constatés, seraient de véritables phénomènes d'interférences, qui conduiraient nécessairement à admettre que le courant électrique se propagerait au moyen d'ondulations très-longues, et dont la longueur serait d'autant plus considérable que le milieu, où la propagation a lieu, serait meilleur conducteur.

On n'observe rien de semblable dans les courants voltaïques, parce que les sources d'où ils émanent ont une telle intensité que, si l'on ajoute un second conducteur, au lieu de déterminer la répartition de la même quantité d'électricité entre ce conducteur et le premier, il s'écoule alors une plus grande quantité de cet agent.

M. Delarive a observé des phénomènes particuliers sur les surfaces des métaux qui transmettent les courants magnéto-électriques dans un liquide conducteur. Si l'on soumet à l'expérience de l'eau acidulée et que les courants y entrent à l'aide de deux fils de platine, le dégagement de gaz qui avait d'abord été considérable, diminue et cesse ensuite tout à fait. Les courants cependant n'ont point perdu de leur intensité, comme on peut le voir par les effets produits sur le thermomètre métallique. Les fils de platine, dans ce cas, se recouvrent d'une couche noire épaisse de platine métallique très-divisé, qui pos-

sède la faculté de déterminer la combinaison des gaz quand on introduit le fil qui en est recouvert dans un mélange explosif. L'or et le palladium présentent des effets absolument semblables, mais plus rapidement encore. Il en est de même des métaux qui sont attaqués par les solutions, tels que l'argent, le cuivre et le plomb. L'hydrogène et l'oxigène recueillis étaient dans les proportions voulues pour former de l'eau. Ce résultat prouve bien que la poudre métallique déposée sur les fils n'était pas mélangée d'oxide.

A mesure que le volume des gaz dégagés diminue, la température de l'hélice introduite dans le circuit s'élève et atteint son maximum dès qu'il ne se dégage plus de gaz. C'est alors que le courant atteint son maximum d'intensité.

M. Delarive, qui a cherché à analyser les effets que nous venons d'indiquer, s'est demandé si l'absence de réaction chimique qui a lieu quand les fils sont recouverts d'une couche de métal très-divisée, ou bien lorsqu'on fait usage de lames de grande surface, provient ou de ce qu'il n'y a pas réellement de décomposition, ou bien de ce que l'oxigène et l'hydrogène provenant de la décomposition, arrivant presqu'en même temps sur les surfaces métalliques, se recombinent par leur influence. Sans décider la question, il pense que plusieurs faits qu'il a observés semblent appuyer la seconde opinion, qui cependant ne peut être applicable aux lames.

Relativement au dépôt d'une poussière métallique sur les fils en lames qui transmettent le courant, il se demande si cet effet ne doit pas être attribué à ce que l'oxigène et l'hydrogène se dégageant alternativement sur la surface des métaux, ceux-ci éprouvent une succession tellement multipliée d'oxidations et de réductions qu'il doit en résulter une désagrégation totale du métal.

CHAPITRE VI.

DU POUVOIR CONDUCTEUR DES CORPS POUR L'ÉLECTRICITÉ, ET DE LA MESURE DE L'INTENSITÉ DES COURANTS.

§ Ier. *Du pouvoir conducteur des métaux et des liquides pour l'électricité émanant d'une source quelconque.*

1277. Nous nous sommes déjà occupé, dans cet ouvrage (1), du pouvoir conducteur des métaux pour le fluide électrique; mais depuis la publication des deux premiers volumes, M. Pouillet ayant fait de nouvelles recherches sur le même sujet, qui avait attiré également l'attention de Ohm il y a dix ans (2), nous allons faire connaître les principaux résultats auxquels ces deux physiciens sont parvenus; l'ensemble des faits est présenté d'une manière si analytique par M. Pouillet, que nous avons cru devoir faire un chapitre à part de son travail.

Davy est le premier qui ait annoncé que le pouvoir conducteur des fils ou barres de métal est en raison inverse de leur longueur et en raison directe de leur section; mais il a plutôt entrevu cette loi qu'il ne l'a

(1) Tome III, page 75.
(2) Journ. de Schweier, 2e série, t. XIV, etc.

démontrée. Nous en prouvâmes immédiatement après l'exactitude dans des portions détachées d'un circuit voltaïque; la marche que nous avons suivie pour cela est à l'abri de toute objection.

MM. Ohm et Pouillet ont envisagé la question d'une manière plus générale; ils ont déterminé le pouvoir conducteur dans un circuit complet, parcouru par de l'électricité émanant d'une source quelconque, la source faisant partie elle-même du circuit; leurs recherches ont montré qu'une source thermo-électrique restant la même, l'intensité du courant qu'elle produit est en raison directe de la section et de la conductibilité du fil de métal qui forme ce circuit et en raison inverse de la longueur du fil, la résistance de la source étant exprimée en fonction d'une certaine longueur du fil. La loi est donc la même que pour une portion du circuit.

Rien n'est plus facile que d'établir les formules qui représentent cette loi dans des circuits homogènes, ensuite dans des circuits hétérogènes.

Supposons que l'on présente successivement à une même source thermo-électrique deux circuits différents, dont le premier a une longueur A, une section S, et une conductibilité C; l'autre, ayant une longueur L', une section S', et une conductibilité C', et que l'on désigne par T l'intensité du courant qui se développe dans le premier circuit, et par X celle du courant qui se développe dans le second, on aura

$$X = T \frac{S'}{S} \cdot \frac{C'}{C} \cdot \frac{L}{L'}.$$

Si l'on veut avoir l'intensité du courant produit par une source thermo-électrique quelconque, lorsque le circuit est composé de divers conducteurs, de longueur, de section et de conductibilité différentes, on peut très-facilement établir les formules des intensités. Considérons d'abord deux circuits différents, l'un homogène, ayant une longueur L, une section S, et une conduc-

tibilité C; l'autre hétérogène, composé de diverses parties successives ayant des longueurs, des sections et des conductibilités différentes. Si l'on prend pour unité de longueur L, et pour unité d'intensité E, on aura en désignant par l'', l''', c'', e''', s'', s''', les parties correspondantes à L, C et S,

$$X = \frac{1}{\frac{l''}{s''\,c''} + \frac{l'''}{s'''\,c'''} +}, \text{ etc.}$$

L'exactitude de ces formules a été vérifiée par l'expérience.

1278. M. Pouillet a cherché les lois des intensités dans des circuits complexes, par des dérivations simples, afin d'expliquer une foule de faits qui embarrassent quelquefois les physiciens quand ils ne soumettent pas au calcul les résultats de l'expérience.

Prenons un élément bismuth et cuivre (fig. 12), dont les soudures r et r' ne possèdent pas la même température, ayant un fil adjonctif de cuivre $a'\,a\,c\,b\,b'$, et un autre $a\,d\,b$; le courant produit par l'élément se partage en deux : une portion suit le circuit $a'acbb'$, une autre le circuit $a\,d\,b$. Le courant qui existait avant que le fil $a\,d\,b$ fût ajouté, est le courant primitif, le courant partiel est la portion du courant qui passe par l'ancien fil, entre les points de dérivation a et b, et le courant dérivé est celui qui suit la dérivation $a\,d\,b$. Le courant principal est le courant qui passe dans le circuit quand la dérivation est faite. La loi des intensités permet d'établir l'intensité de tous ces courants.

En appelant T l'intensité du courant primitif;
X du courant principal;
Y du courant partiel;
R du courant dérivé;
L la longueur totale du circuit;

nl la distance des points a et b; knl la longueur entière du fil de dérivation adb, ce qui signifie que cette longueur est égale à k fois l'intervalle de dérivation nl; $\frac{s}{p}$ la section du fil de dérivation adb, s la section du fil ab, on en déduit facilement

$$X = \frac{T(pk+1)}{pk+1-n}$$

$$Y = \frac{T.pk}{pk+1-n}$$

$$Z = \frac{T\,1}{pk+1-n}.$$

Rien n'est plus simple que d'étendre ces formules aux dérivations multiples.

Ces formules ont été vérifiées, comme les précédentes, par l'expérience, et ont mis à même M. Pouillet de constater les propriétés suivantes des courants thermo-électriques.

Dans un courant thermo-électrique parcourant des fils de différentes sections, la force élémentaire est la même dans tous les points; comme du reste on le savait déjà. Lorsqu'on prend des intervalles égaux sur différents fils, les courants dérivés que l'on en tire ont des intensités différentes, qui sont à peu près en raison inverse des sections des fils dans l'intervalle de dérivation; si les fils sont hétérogènes, il faut avoir égard, non-seulement aux sections, mais encore à la conductibilité.

1279. Après avoir déterminé par le calcul les lois relatives aux phénomènes d'intensité des courants thermo-électriques dans des éléments simples, M. Pouillet a résolu les mêmes questions pour les piles formées de la réunion d'un certain nombre de paires, et dont plusieurs avaient été également traitées, avant lui, par Ohm. Voici

la disposition de son appareil : Il prend 8 éléments bismuth et cuivre ; les quatre éléments bismuth ont la forme (fig. 13), et des dimensions parfaitement semblables ; les quatre éléments en cuivre sont des lames de 25 millimètres de largeur, de 3 millimètres d'épaisseur, et ont la forme même figure, afin que les extrémités du bismuth puissent être soudées facilement sur les appendices *a* et *a'*. Des éléments sont disposés à la suite l'un de l'autre, de manière à former un rectangle dont les grands côtés ont trois éléments et les petits un seul (fig. 14). Le bismuth forme les petits côtés. Les éléments sont portés sur une planche horizontale munie de trous convenablement placés, et par lesquels passent les appendices verticaux des différents éléments. Quant à leurs portions horizontales, elles sont incrustées dans l'intérieur de la planche. Quand on opère, les grands côtés de la pile sont placés perpendiculairement au méridien magnétique. Une petite aiguille aimantée rectangulaire, de deux centimètres de longueur, d'un centimètre de largeur et de deux millimètres d'épaisseur, est suspendue par un fil de soie au dessus de l'un des éléments cuivre, de manière que son centre tombe au milieu de la largeur de cet élément, et que son côté le plus bas en soit éloigné seulement de quelques millimètres. L'aiguille avec son support (fig. 15) sont placés sous une cloche de verre. Avec un compteur, on évalue exactement la durée de vingt oscillations doubles de l'aiguille pendant que toutes les soudures sont à la même température ; puis l'on compte la durée du même nombre d'oscillations lorsque l'on chauffe un certain nombre de soudures. On tourne l'appareil de manière que l'action du courant sur l'aiguille s'ajoute toujours à celle de la terre.

§ Ier. *Résultats d'une expérience.*

Au départ, toutes les soudures sont à 18 degrés.

	Durée de 20 oscillations doubles.
Aucune soudure n'étant refroidie.....	42"
On met à zéro la soudure n° 1.....	38 8
id. *id.* les soudures n°s 1. 3...	36
id. *id.* *id.* n°s 1. 3. 5.	34
id. *id.* *id.* n°s 1. 3. 5.	32

Si l'on désigne par M la force magnétique que la terre exerce sur l'aiguille, par M' celle qu'exerce le courant et par T et T' les durées d'un même nombre d'oscillations exécutées sous l'influence de la force magnétique de la terre seule et sous l'influence de cette force et du courant, on a

$$\frac{M}{M} = \frac{T^2 - T'^2}{T'^2},$$

Si l'on prend pour unité la force magnétique de la terre, on en déduit

SOUDURES A ZÉRO.	INTENSITÉS TOTALES.	INTENSITÉS pour UN ÉLÉMENT.
N° 1	0,173	0,173
N°s 1.3	0,361	0,180
N°s 1.3.5	0,525	0,175
N°s 1.3.5.7	0,722	0,181

On voit que l'intensité du courant thermo-électrique est proportionnelle au nombre de courants qui sont en activité, comme Œrstedt et Fourier, d'une part, et nous de l'autre, l'avons trouvé il y a plus de quinze ans.

Les formules relatives aux courants dérivés dans les circuits simples s'appliquent aux courants dérivés ob-

tenus dans un courant produit par une pile thermo-électrique d'un nombre quelconque d'éléments.

1280. M. Pouillet a étudié ensuite cette question : Lorsque plusieurs courants électriques se propagent dans l'intérieur des corps en général, chacun d'eux se propage-t-il comme s'il était seul? Il a trouvé que dans un seul couple thermo-électrique dont les deux soudures ont la même température, supérieure à celle du milieu ambiant, il n'y a ni repos ni équilibre électrique, mais mouvement et propagation de deux courants égaux et opposés. Cette indépendance des courants avait déjà été établie par nous (1) sous une autre forme : « Dans un circuit « fer et cuivre, lorsqu'on élève chacune des soudures à « une température différente, l'intensité du courant est « égale à la différence des intensités du courant produit « successivement par chacune de ces températures, l'autre « soudure étant à zéro, et non, comme on aurait pu le « croire, à l'intensité du courant qui résulte d'une dif- « férence seule de température. » Cela n'a lieu bien entendu que pour des températures supérieures à 100°, attendu qu'au-dessous de ces températures, si l'on chauffe inégalement les soudures, l'intensité est proportionnelle à la différence de température.

M. Pouillet a envisagé la question d'une manière plus générale : voici comment il l'a traitée : Soit (fig. 14) une pile formée de 8 éléments. Toutes les soudures possédaient la même température. Il a joint par un fil de cuivre vv' les deux éléments cuivre fe et cd. S'il y a quatre courants dirigés dans un sens et quatre courants dirigés en sens contraire, le fil vv' sera parcouru par huit courants; les courants ayant leur origine en a, c, d, et g, et allant de v en v', et les quatre autres ayant leur origine en b, e, f, h allant de v' en v, il ne se produit alors aucun effet apparent; mais si l'on vient à chauffer deux soudures consécutives, sous cette double condition, il

(1) Tome II, page 48.

n'y aura pas de courant dans la pile, tandis qu'il y en aura dans le fil vv'.

Pour que la première condition soit remplie, il suffit de chauffer et de refroidir au même degré une soudure paire et une impaire, ou *vice versâ*, ce qui donne des combinaisons différentes, savoir :

La soudure n° 1	avec les n°s 2.4.6.8.	donne 4	combinaisons.
2	3.5.7.	3	
3	4.6.8.	3	
4	5.7.	2	
5	6.8.	2	
6	7.	1	
7	8.	1	
	Total..	16	combinaisons.

Pour que la seconde condition soit remplie, il faut remarquer que les courants qui vont de v en v' proviennent des soudures 1.3.4.7, et que les courants contraires proviennent des soudures 2.5.6.8. Sur les 16 combinaisons qui remplissent la première condition, il n'y en a donc que 6 qui remplissent la seconde, savoir : la soudure 4 avec les soudures 1.3.7, et la soudure 5 avec les soudures 2.6.8. L'expérience montre en effet que si l'on produit ces six combinaisons, soit par échauffement, soit par refroidissement, on obtient toujours des courants sur le fil vv'.

La théorie des courants dérivés permet d'analyser toutes les circonstances de l'expérience et d'évaluer numériquement les intensités des courants dans un grand nombre de cas.

§ II. *De l'intensité des courants électro-chimiques provenant d'un seul élément ou d'une pile à grande et petite tension.*

1281. M. Pouillet a appliqué aux courants hydro-

électriques la méthode d'investigation qu'il a employée pour les courants thermo-électriques. La source d'électricité devant faire partie du circuit, il a dû se procurer une source constante, ce que n'a pas fait Ohm, afin d'être à l'abri des variations qui auraient empêché d'apercevoir la loi à laquelle sont soumises les intensités.

Il s'est servi à cet effet d'un appareil de construction anglaise, dont le principe a été découvert par nous (1). L'élément de cette pile (fig. 16) se compose d'un cylindre de cuivre rouge, d'un autre de zinc fendu latéralement, d'un diamètre plus grand et d'une hauteur moindre, puis d'un vase de verre destiné à recevoir le système des deux cylindres. Le cylindre de cuivre est revêtu d'une vessie qui vient se lier vers sa base supérieure; mais, au-dessous de la ligature et au-dessus de cette base on a pratiqué 5 ou 6 ouvertures par lesquelles le liquide versé sur le cylindre peut s'écouler pour venir remplir tout l'espace compris entre la membrane de la vessie et la paroi latérale du cylindre. Le cylindre de cuivre, ainsi disposé, est placé dans le cylindre de zinc, et l'un et l'autre dans le vase de verre. On verse dans celui-ci une solution de sel ou de sulfate de zinc, et dans la vessie une solution plus ou moins saturée de sulfate de cuivre.

Pour empêcher l'affaiblissement du courant qui résulte de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre, on jette sur la base supérieure du cuivre des morceaux de sulfate de cuivre qui se dissolvent dans l'excès de liquide qui couvre cette base. De cette manière, la dissolution intérieure conserve à peu près la même saturation. La force de cet appareil est constante pendant 2 ou 3 heures.

1282. M. Pouillet mesure l'intensité des courants au moyen de deux boussoles; l'une qu'il appelle boussole des tangentes et l'autre boussole des sinus, dont s'est

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLI, p. 20.

servi, il y a plusieurs années, M. Delarive. Il emploie la première quand il s'agit de courants très-énergiques, et la boussole des sinus quand il observe des courants plus faibles. La boussole des tangentes (fig. 17) est composée d'un grand cercle de 4 à 5 décimètres de diamètre, formé par un ruban de cuivre de 20 millimètres de longueur et de 2 décimètres d'épaisseur. Le ruban est revêtu de soie, et ses extrémités, repliées convenablement, viennent plonger chacune dans un godet contenant du mercure. Le cercle du courant est disposé verticalement sur un autre cercle divisé horizontal, que parcourt une aiguille de boussole suspendue à des fils de soie dans l'intérieur d'une cloche. Le centre de l'aiguille est le même que celui du cercle du courant. Quand la longueur de l'aiguille est petite par rapport aux rayons du cercle, l'intensité du courant est mesurée par la tangente de la déviation.

La boussole des sinus (fig. 18) se compose d'un rectangle formé par un ruban de cuivre rouge, dans l'intérieur duquel, et vers son milieu, se trouve une aiguille aimantée qui se meut sur un pivot. Ce rectangle est adapté sur une alidade qui se meut sur un cercle divisé de telle sorte que le pivot de l'aiguille se trouve toujours dans l'axe de rotation. Les deux extrémités de ce ruban de cuivre sont disposées de manière à communiquer avec la source d'où émane le courant. Quand on veut se servir de ce dernier appareil, on place le rectangle dans le plan du méridien magnétique; et quand le courant produit une déviation de l'aiguille, on fait mouvoir le rectangle d'une certaine quantité pour le ramener dans le plan vertical de l'aiguille. Quand toutes ces conditions sont remplies, il est facile de prouver que l'intensité du courant est proportionnelle au sinus de la déviation.

1283. On a d'abord opéré avec un élément A, produisant sur la boussole des tangentes des déviations comprises entre 50 et 74 degrés, et dont les forces variaient à peu près comme 1 est à 2.

On a pris diverses longueurs d'un même fil depuis 1

jusqu'à 16 mètres. Chaque longueur a été enroulée sur elle-même et enfermée dans une petite boîte, de manière à ne laisser en dehors que les deux extrémités qui devaient être plongées dans le mercure. On a ajouté successivement au circuit, ou à la longueur de l'élément, diverses longueurs du fil depuis zéro jusqu'à 16 mètres. Les tangentes de déviations de l'aiguille aimantée dans chaque cas, indiquent que lorsqu'on tient compte de la longueur de l'élément lui-même, ou du moins de la résistance qu'il oppose à la circulation du courant, les intensités du courant restent constamment les mêmes pour des longueurs x, $x+1$, $x+2$, $x+3$; x représentant le circuit primitif.

Pour déterminer la valeur de x, il faut admettre un instant la loi de la conductibilité électrique, telle qu'elle a été reconnue pour les sources thermo-électriques.

En évaluant alors la résistance de l'élément en fonction d'une longueur du fil soumis à l'expérience, on trouve encore que l'intensité du courant qui passe dans un circuit hydro-électrique est en raison inverse de la longueur du circuit, et en raison directe de la section, quels que soient la nature, les diamètres et les longueurs des fils, jusqu'à cent mètres.

L'intensité du courant étant proportionnelle à la conductibilité, il en résulte que la résistance de l'élément peut être exprimée par des longueurs de fil qui sont également proportionnelles à la conductibilité. On en déduit alors une formule de l'intensité du courant, dans laquelle se trouvent la conductibilité du circuit, sa section, sa longueur et la résistance de l'élément pour un circuit dont la conductibilité et la section sont prises pour unité. Cette formule peut être exprimée par

$$\frac{csr+cs}{csr+l};$$

c. représentant la conductibilité du circuit;
s. id. sa section;
l. id. sa longueur;
r. id. la résistance de l'élément pour un circuit dont la conductibilité et la section sont prises pour unité.

Diverses expériences ayant établi que les intensités du courant dérivé sont sensiblement proportionnelles aux distances des points de dérivation, et que l'intensité du même courant est en raison inverse de la section du fil et en raison inverse de sa conductibilité, on peut, en combinant cette loi avec la loi sur l'intensité du courant principal, en déduire les formules générales qui expriment les intensités du courant principal, du courant partiel et du courant dérivé, en tenant compte de la longueur, du diamètre et de la conductibilité des fils.

A l'aide de ces formules, on peut aussi calculer dans tous les cas les intensités des courants qui se ramifient d'une manière quelconque dans autant de conducteurs que l'on voudra, pourvu que l'on connaisse les sections et les conductibilités de ces conducteurs, ainsi que leur position dans le circuit.

1284. Après avoir déterminé les effets produits par un seul élément, M. Pouillet a examiné le cas où l'on emploie des piles à petite ou à grande tension.

Ayant disposé six éléments semblables à celui que nous avons décrit précédemment, il a déterminé d'abord leur intensité et leur résistance individuelles, comme on le voit dans le tableau suivant :

Nos des éléments.	Longueurs ajoutées a l'élément.	Déviations observées.	Tangentes des intensités.	Résistances.
	0	69°,00	2,600	» »
	5	43,20	0,943	2,85
1	10	30, »	0,577	2,85
	40	11, »	0,194	3,20
			Moyenne	2,97
	0	66,30	2,300	» »
	5	43, »	0,933	3,41
2	10	29,40	0,570	3,35
	40	10,40	0,188	3,55
			Moyenne	3,44
	0	67,40	2,434	» »
	5	42,30	0,916	3,02
3	10	29,40	0,570	3,05
	40	10,20	0,182	3,23
			Moyenne	3,10
	0	67, »	2,355	» »
	5	42,30	0,909	3,19
4	10	29,40	0,570	3,19
	40	10,20	0,182	3,35
			Moyenne	3,25
	0	68, »	2,475	» »
	5	43,20	0,943	3,08
5	10	30,30	0,589	3,13
	40	11, »	0,194	3,40
			Moyenne	3,21
	0	64, »	2,150	» »
	5	41, »	0,869	3,68
6	10	28,40	0,548	3,64
	40	10, »	0,176	3,75
			Moyenne	3,69

On a disposé ensuite tous les éléments pour en former une pile (fig. 19), et on a fait passer le courant dans un fil de cuivre revêtu de soie, de $0^{mil.},994$ de diamètre, dont on a varié la longueur, et dans la boussole des tangentes; on a obtenu les résultats suivants:

LONGUEURS AJOUTÉES.	DÉVIATIONS OBSERVÉES.	TANGENTES des DÉVIATIONS.	RÉSISTANCES.
0	68°,30'	2,558	» »
5	63,20	1,991	18,20
10	58,30	1,632	19,63
40	39, »	0,810	18,01
70	28, »	0,532	18,56
100	21,30	0,394	18,38
		MOYENNE...	18,43

Ces résultats montrent que la force de chaque élément est à peu près la même; que l'intensité du courant produit par une pile de six éléments est moindre en apparence que l'intensité du courant produit par l'élément le plus fort, puisque l'élément n° 1 a donné une déviation de 69°,00, tandis que la pile entière n'a produit qu'une déviation de 68°,30; que la résistance d'une pile est beaucoup plus grande que celle de chacun de ses éléments, mais que son intensité est toujours soumise à la loi générale de la raison inverse de la longueur totale du circuit.

Ayant trouvé le rapport qui existe entre l'intensité de la pile et celle de chacun de ses éléments, M. Pouillet a établi la formule générale qui exprime l'intensité d'une pile en fonction de l'intensité individuelle de ses éléments. Les résultats calculés et les résultats observés ont montré un accord satisfaisant.

Si l'on représente par t_1 et r_1 l'intensité et la résistance du premier élément; t_2 et r_2 celles du deuxième élément; t_3 et r_3 celles du troisième élément; quand le courant du premier élément entre dans la pile, il traverse sa propre longueur r et la longueur $r_2 - a$, en représentant par a la longueur de la boussole et des conducteurs communs; il aura à traverser encore la longueur $r_3 - a$ du troisième élément et la longueur l du circuit ajouté. Le courant de l'élément n° 1 traversera une longueur exprimée par $r_1 + r_2 - a + r_3 - a +$ etc. $+ l$
ou par $r_1 + r_2 + r_3 + \ldots r_n - a(n-1) + l$
ou par $\Sigma r - a(n-1) + l$ en désignant par Σr la somme des quantités semblables $r_1 + r_2 \ldots r_n + - r_n$
ou, si pour une longueur r son intensité est t, pour une longueur $\Sigma r - a(n-1) + l$ son intensité sera

$$\frac{r_1\, t_1}{\Sigma r - a(n-1) + l}.$$

L'intensité du 2e élément aura pour expression

$$\frac{r_2\, t_2}{\Sigma r - a(n-1) + l}.$$

La somme des intensités de tous les éléments de la pile aura pour expression ;

$$\frac{\Sigma r\, t}{\Sigma r - a(n-1) + l},$$

en désignant par Σrt la somme des produits $r_1 t_1 + r_2 t_2 +$, etc. L'exactitude de cette formule a été vérifiée par un grand nombre d'expériences. En discutant tous les résultats obtenus, M. Pouillet a montré que dans les deux cas extrêmes, d'abord dans le cas le plus défavorable, l'intensité de la pile n'est ni plus ni moins grande que celle d'un élément; que dans le cas le plus favorable elle est

proportionnelle au nombre des éléments, et que, dans les cas ordinaires, elle a une valeur intermédiaire et comprise entre ces limites.

D'après ces inductions, la tension de la pile ne serait donc que la faculté de traverser un long circuit sans diminuer trop rapidement d'intensité; et une pile quelconque serait capable d'un effet électro-dynamique constant, qui est rigoureusement égal à la somme des effets électro-dynamiques de tous les éléments, en tenant compte, bien entendu, de la résistance du circuit, c'est-à-dire, de sa conductibilité exprimée en longueur du fil conducteur, résultat auquel Ohm est également parvenu.

1285. M. Pouillet a établi aussi les formules générales d'intensité pour les piles à petite tension, formées de la réunion de plusieurs éléments réunis pôle à pôle.

Considérons deux éléments A et B. Le courant de l'élément A, par exemple, ne peut plus passer directement dans la boussole et dans les longueurs successives de fil qu'on lui présente, car il éprouve, de la part de l'élément B, une dérivation telle, que cet élément B doit être considéré comme un fil d'une longueur égale à sa propre résistance, qui vient faire éprouver au courant primitif de A une dérivation soumise aux lois précédemment établies. La portion du courant de A, qui passe dans la boussole et dans le fil ajouté au circuit, n'est par conséquent qu'un courant partiel, dont l'intensité doit être calculée par la formule générale des courants partiels. Il en est de même de l'élément B par rapport à l'élément A.

Il résulte d'une série d'expériences que nous ne rapportons pas ici, et des formules qui en représentent les effets, que, lorsque l'on réunit plusieurs éléments pôle à pôle, le courant reste soumis à la loi générale d'intensité pour un seul élément et pour une pile composée d'un nombre quelconque d'éléments, c'est-à-dire, que son intensité est également en raison inverse de la longueur du circuit; que si un élément de force quelconque donne un courant qui parcourt un certain circuit, et que l'on

vienne à toucher deux points de ce circuit avec les deux pôles d'un autre élément, le sens du courant étant le même, le courant de ce nouvel élément passe dans le premier circuit, entre les points touchés, de la même manière que si cette portion du circuit se trouvait à l'état naturel. Il résulte de là que les deux courants se superposent et s'ajoutent, de telle sorte que chacun d'eux se propage et se ramifie comme s'il était seul.

§ III. *De la mesure relative des sources thermo-électriques et des sources hydro-électriques.*

1286. M. Pouillet a résolu une question qui ne l'avait pas été jusqu'ici, du moins aussi complétement; c'est celle qui concerne les rapports d'intensité qui existent entre les courants thermo-électriques et les courants hydro-électriques.

Pour comparer les intensités des sources thermo-électriques aux intensités des sources hydro-électriques, ce physicien a employé une méthode dont nous avons fait usage pour la détermination de l'intensité d'un courant dans une portion d'un circuit métallique, laquelle consiste à affaiblir le courant provenant de la dernière source en le faisant passer par un fil de platine d'une longueur suffisante pour que le courant n'ait plus que l'intensité nécessaire pour faire équilibre au courant thermo-électrique, les deux courants produisant le même effet sur une boussole de sinus à multiplicateur.

Dans une de ces expériences, on a dû employer un fil de platine de 180 mètres de longueur, en y comprenant la résistance de la pile déterminée préalablement et la longueur des fils additionnels, et de $\frac{144}{1000}$ de millimètre de diamètre, pour que le courant fourni par une pile à la Wollaston, de 12 paires, fît équilibre au courant produit par un élément bismuth et cuivre dans un circuit de 20 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre avec une différence de 42°,3. Au moyen des lois établies, on en a conclu qu'une semblable pile a une intensité qui est

114,000 fois plus grande que l'intensité du courant de l'élément bismuth et cuivre, produit par une différence de température de un degré entre les deux soudures.

A l'aide des formules d'intensité, on voit pourquoi les sources thermo-électriques agissent fortement sur l'aiguille aimantée et produisent à peine des actions chimiques, tandis que le contraire a lieu pour les courants hydro-électriques; car si l'on transmet, par exemple, un courant thermo-électrique dans un liquide quelconque, ce liquide, qui est mauvais conducteur, équivaut à une longueur excessivement grande du circuit primitif, et réduit par conséquent son intensité dans une semblable proportion.

Quant aux sources hydro-électriques, elles sont telles que l'appareil qui les constitue, présente toujours une résistance considérable en raison de l'alternative des liquides et des bons conducteurs, de sorte que le courant, en traversant l'appareil, se trouve déjà affaibli autant que s'il avait déjà traversé une très-grande longueur de fil; il en résulte que si on lui présente un liquide qui soit équivalent, par exemple, à dix mille mètres d'un fil de cuivre de 1 centimètre de diamètre, le courant provenant d'un élément à la Wollaston, ne sera réduit qu'à moitié après avoir traversé ce nouveau circuit. Il se trouve donc alors posséder une grande énergie pour le traverser et opérer des décompositions.

M. Pouillet en cherchant à établir le rapport de conductibilité entre les liquides et les métaux, en prenant pour unité celle du mercure, a commencé par examiner si l'intensité des courants qui parcourent les liquides est, comme pour les métaux, en raison directe de la section, et en raison inverse de la longueur. Il a préparé à cet effet différents systèmes de tubes, composés chacun de deux tubes égaux en tous points, d'une longueur d'environ un demi-mètre pour les tubes à petite section, et d'un diamètre qui variait de 3 à 8 millimètres, et d'une longueur d'un mètre pour les tubes à grande section, dont le diamètre avait depuis 10 jusqu'à 20 millimètres. Il a fait passer

le courant d'une pile de 12 paires par la boussole de sinus, et à travers le liquide contenu, soit dans l'un des tubes, soit dans les deux.

En opérant sur des dissolutions de diverses natures, il a trouvé que l'intensité était rigoureusement en raison directe de la section, et en raison inverse de la conductibilité, comme Fechner l'avait déjà reconnu.

Dans ces expériences, il a négligé la résistance de la pile, ainsi que la longueur du fil de la boussole, parce que ces conducteurs réunis ne formaient, en longueur réduite, qu'une très-faible portion de la longueur du liquide des tubes soumis à l'expérience.

La communication avec le liquide des tubes a toujours été établie avec le métal dont l'oxide se trouvait dans la dissolution. Il a pris le cuivre pour le sulfate de cuivre, le zinc pour le sulfate de zinc, et enfin le platine pour l'eau pure ou acidulée. La loi de l'intensité des courants étant la même pour tous les conducteurs, rien n'a été plus facile que de comparer la conductibilité des liquides à celle des métaux.

Il a déterminé avec une certaine exactitude la conductibilité d'un liquide particulier, afin de s'en servir comme de type à l'égard des autres liquides. Il a pris pour liquide d'épreuve le sulfate de cuivre saturé à la température de 15°, qu'il a mis dans un tube horizontal d'un mètre de long et de 20 millimètres de diamètre. A côté de ce tube, il a disposé un fil de platine de 200 mètres de long et il a fait passer le courant de la pile de 12 éléments par la boussole pyrométrique et le sulfate de cuivre, puis le même courant dans la boussole pyrométrique et le fil de platine, dont on a varié la longueur jusqu'à ce que la déviation ne fût plus que de 22 degrés. Il a trouvé que 132 mètres de fil de platine équivalent exactement à une colonne de sulfate de cuivre de 1 mètre de longueur et de 20 millimètres de diamètre. Pour produire ces effets, il faut que les conductibilités du platine et du sulfate de cuivre soient entre elles comme le rapport inverse des sections

multiplié par le rapport direct des longueurs. En effectuant ce calcul, il a trouvé que la conductibilité du platine est plus de 2 millions et demi de fois plus grande que la conductibilité d'une dissolution de sulfate de cuivre.

Il a comparé ensuite la conductibilité du sulfate de cuivre à celle des autres liquides, au moyen de deux appareils composés chacun de trois tubes cylindriques, d'un demi-mètre de longueur, dont les diamètres sont entre eux comme les nombres 1, 2, 4. Le plus petit est de 3 à 4 millimètres. Ces tubes sont fermés à leur extrémité inférieure par des bouchons de cuivre rouge, qui peuvent s'enlever à volonté; puis à leur extrémité supérieure ils reçoivent de petites tiges pareillement de cuivre, qui peuvent être enfoncées plus ou moins, de manière à faire entrer dans le circuit électrique des colonnes liquides plus ou moins longues, depuis quelques millimètres jusqu'à 50 centimètres. L'un des appareils est rempli d'une dissolution saturée de sulfate de cuivre, pour servir de type aux liquides bons conducteurs, et l'autre contient une dissolution plus ou moins étendue de sulfate de cuivre, pour servir de type aux mauvais conducteurs. Voici quelques-uns des résultats qu'il a obtenus :

Dissolutions.	Conductibilités.
Dissolution saturée	1
Id. étendue de 1 vol. d'eau	0,64
Id. de 2 vol. d'eau	0,44
Id. 4 volumes d'eau	0,31
Id. saturée de sulfate de cuivre	1,00
Id. saturée de sulfate de zinc	0,417
Eau distillée	0,0025
Eau avec $\frac{1}{20000}$ d'acide nitrique	0,015

Dans les résultats que nous venons de rapporter, il n'a pas été tenu compte de la perte d'électricité qui a lieu quand l'électricité passe d'un métal dans un liquide.

CHAPITRE VII.

NOUVEAUX DÉVELOPPEMENTS RELATIFS A LA MANIÈRE D'ÉVALUER L'INTENSITÉ DES COURANTS ÉLECTRIQUES ET LA QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ QUI EST NÉCESSAIRE POUR DÉCOMPOSER UN GRAMME D'EAU.

1287. On a admis *à priori* que les quantités d'électricité qui constituent les courants, sont proportionnelles aux effets produits. Pour démontrer ce principe, M. Pouillet s'est servi d'une roue dentée (fig. 16) qui a déjà servi à M. Masson pour des expériences du même genre et qui est ainsi construite : les dents *a*, *b*, *c*, sont métalliques et font corps avec elle. Les intervalles *a'*, *b'*, *c'*, sont remplis avec des morceaux de bois ajustés avec soin ; cette roue est portée sur un axe horizontal en métal, auquel on imprime un mouvement de rotation plus ou moins rapide. On peut lui faire faire de 20 à 21 tours pour un seul tour d'une grande roue avec laquelle elle est en rapport. Or, le nombre des dents étant de 60, il s'ensuit qu'il passe 1,300 dents du métal ou 2,600 dents de bois et de métal pour un tour de la grande roue. D'un autre côté, comme on peut faire jusqu'à 3 tours en 1", il en résulte qu'une dent passe à peu près en $\frac{1}{7800}$ de seconde. L'axe de la roue est mis en communication avec l'un des pôles de la pile, tandis qu'une languette de laiton *x*, en rapport successivement avec chaque dent, sur laquelle elle appuie légèrement, communique avec l'autre pôle. Le courant ne passe, bien entendu, que lorsque la languette

frotte sur une dent métallique, et est interrompu lorsqu'elle touche l'intervalle en bois. Il est évident que le rapport entre le passage et l'intermittence est égal au rapport qui existe entre l'arc de la dent de métal et l'arc de la dent de bois. Dans la roue, les deux arcs étaient égaux; la durée du passage et celle de l'interruption est donc chacune de $\frac{1}{7000}$ de seconde quand la roue fait 21 tours en une seconde. Si l'on introduit dans le circuit une boussole, dont le multiplicateur est seulement de 2 ou 3 tours, et que l'on observe l'intensité du courant, 1° quand la roue est en repos et que la languette pose sur une dent, 2° lorsqu'on met la roue en mouvement et que l'on augmente la vitesse successivement jusqu'à ce que l'aiguille ne fasse plus que de légères oscillations, on trouve, au moyen des déviations produites, que l'intensité du courant dans ce dernier cas est moitié de ce qu'elle est lorsque la roue est en repos; si l'on continue à augmenter la vitesse de rotation, l'aiguille continue à rester immobile. On se rend compte facilement, au moyen du calcul, des effets mécaniques qui sont produits dans cette expérience.

Représentons par F l'intensité de l'action magnétique de la terre sur l'aiguille; par φ l'intensité du courant, et par D la déviation observée pendant le repos,

$$\text{on a } \varphi = F \sin. D.$$

Si x représente la déviation de l'aiguille, lorsqu'elle prend sa position d'équilibre pendant le recouvrement, l'action qu'exerce la terre sur l'aiguille sera

$$F \sin. x.$$

Il est bien évident que cette force qui tend à ramener l'aiguille dans le méridien magnétique, agit d'une manière permanente aussi bien pendant le passage du courant que pendant son intermittence.

En prenant pour unité de temps la durée du passage

d'une dent de métal et d'une dent de bois, elle agit pendant cette unité. D'un autre côté, l'intensité du courant n'agit que pendant qu'il passe, c'est-à-dire pendant un temps $\frac{m}{m+b}$, en représentant par m l'arc de la dent de métal et par b l'arc de la dent de bois. On a deux forces opposées qui doivent se faire équilibre, et par conséquent produire des vitesses égales et contraires dans l'aiguille.

Ces deux forces sont F sin. x, qui agit pendant un temps 1, et F sin. D, qui agit pendant $+\frac{m}{m+b}$.

Or, pendant le court espace qu'elles agissent, les vitesses imprimées étant proportionnelles aux forces et au temps de leur action, on a

$$\text{F sin. } x = \frac{m}{m+b} \cdot \text{F sin. D.}$$

$$\text{Sin. } x = \frac{m+b}{m} \text{ sin. D.}$$

Dans le cas actuel $m = b$,
on a sin. $x = \frac{1}{2}$, sin. D,
comme l'indique l'expérience.

M. Pouillet a cru devoir conclure de là, que par cela même que la quantité d'action d'un courant est, pour des temps très-courts, proportionnelle à sa durée, il faut qu'elle soit aussi proportionnelle à la quantité d'électricité qui passe, attendu que celle-ci est proportionnelle au temps.

Il est bien visible, d'après ce que nous venons d'exposer, que puisque les intensités des courants produits par une source électrique quelconque, sont en raison inverse de la longueur du circuit, il faut que les quantités d'électricité produites par la source soient elles-mêmes en raison inverse de la longueur du circuit, et

en raison directe de la section et de la conductibilité, mais il s'opère tant de recompositions électriques au contact des surfaces agissantes, que la conséquence que nous venons de tirer n'est vraie que dans quelques cas particuliers.

Ces recompositions empêchent aussi que les tensions des électricités dégagées, dans les actions chimiques, soient en rapport avec les affinités qui sont en jeu.

1288. Quoi qu'il en soit, M. Pouillet a cherché la quantité d'électricité qui est nécessaire pour décomposer un gramme d'eau. Il s'est servi à cet effet 1° de la pile cloisonnée, dont nous avons déjà donné la description; 2° d'une grande boussole à sensibilité variable, et d'un appareil de décomposition qui a de l'analogie avec les appareils employés par M. Faraday.

La grande boussole à sensibilité variable est représentée dans la figure 17. Comme elle peut être utile dans d'autres expériences, nous allons en donner la description qu'il en a faite :

« Elle se compose d'un cercle vertical de laiton à « gorge carrée; la circonférence du fond de la gorge est « juste d'un mètre; une aiguille aimantée est posée sur « un pivot, au centre du cercle; un repère, ajusté avec « soin, forme une ligne de foi dans la direction du dia- « mètre horizontal tracé dans le plan vertical qui passe « par le milieu de la largeur de la gorge. Ainsi, quand « l'aiguille est sur la ligne de foi, le plan du courant « est exactement dans le plan du méridien magnétique. « Le cercle à gorge est porté par une alidade qui se « meut autour d'un pivot central, et dont l'extrémité « parcourt un cercle horizontal. Quand le courant passe « et dévie l'aiguille, on fait mouvoir l'alidade pour ra- « mener la ligne de foi dans la direction de l'aiguille, et « l'angle qu'il faut décrire pour cela est précisément « l'angle de déviation. »

Le cercle à gorge sert à enrouler le fil de manière à augmenter ou à diminuer le nombre de tours. Avec cet instrument on voit aisément que l'intensité de l'action

que l'aiguille éprouve est rigoureusement proportionnelle au nombre de tours. Cet appareil a assez de sensibilité pour donner des déviations à cinq minutes de degré près.

Quand on veut opérer, on fait passer le courant dans l'appareil de décomposition et par un fil de cuivre de 30 mètres de longueur, que l'on enroule un certain nombre de tours sur le cercle de la boussole. On marque exactement, avec un compteur, l'instant où la communication est établie, puis celui où l'une des branches du tube renferme deux centimètres cubes d'hydrogène, quand la décomposition est lente, et six ou huit quand elle est rapide : on observe en même temps la déviation de l'aiguille aimantée, pour avoir l'intensité du courant; déviation qui est toujours constante quand le métal qui forme les pôles n'éprouve pas d'action chimique variable. Voici le tableau d'une série d'expériences faites sur la décomposition de l'eau plus ou moins acidulée :

NUMÉROS de l'expérience.	NATURE du liquide.	MÉTAL qui forme les pôles.		NOMBRE de secondes pour obtenir deux centimètres cubes d'hydrogène.	DÉVIATION de l'aiguille de la boussole.	SINUS de la déviation ou intensité.	PRODUIT de l'intensité par le temps.
		PÔLE POSITIF.	PÔLE NÉGATIF.				
1	Eau distillée avec acide sulfurique.	Platine....	Platine....	498″	5° 50′	0°1016	50°60
2		Idem.....	Idem.....	510	5 40	0 0987	50 34
3	Liquide précédent étendu d'un volume d'eau distillée.	Idem.....	Idem.....	725	4 »	0 0697	50 53
4		Idem.....	Idem.....	728	4 »	0 0697	50 74
5		Idem.....	Idem.....	919	3 10	0 0552	50 73
6	Eau ordinaire avec acide sulfurique.	Idem.....	Idem.....	417	6 50	0 1190	49 62
7		Idem.....	Idem.....	423	6 45	0 1175	49 70
8		Cuivre.....	Idem.....	251	11 20	0 1965	49 32
9		Idem.....	Idem.....	247	11 30	0 1994	49 25
10		Idem.....	Idem.....	247	11 30	0 1994	49 25
11		Zinc.....	Idem.....	239	12 »	0 2080	49 71
12		Idem.....	Idem.....	258	11 »	0 1908	49 22
13		Platine....	Idem.....	684	4 10	0 0724	49 50
14	Acide sulfurique étendu.	Idem.....	Idem.....	77	40 »	0 6428	49 50

Les résultats consignés dans la septième colonne nous indiquent que le produit du temps par l'intensité du courant est une quantité sensiblement constante; la cinquième et la quatorzième expériences montrent que les courants d'une intensité différente, et dont le rapport s'est élevé jusqu'à 12, produisent des effets chimiques proportionnels à leurs intensités, comme on le savait déjà; nous voyons encore que lorsqu'au pôle positif on substitue au platine du cuivre ou du zinc, toutes les autres circonstances restant les mêmes, le courant prend

une intensité beaucoup plus grande. Le zinc donne une intensité trois fois plus considérable, c'est-à-dire, l'effet est le même que si l'on avait réduit au tiers la longueur du circuit, ou triplé la tension de la force électrique.

M. Pouillet a vu, d'après des expériences, que cet effet n'est pas dû au dégagement d'électricité qui a lieu dans la réaction de l'eau acidulée sur le zinc, mais à une cause qu'il n'a pu découvrir. Nous ferons remarquer encore qu'il ne tient pas compte de la perte d'électricité qui a lieu quand l'électricité change de conducteur. Il est probable que les effets qu'il a observés tenaient à un effet de ce genre.

Le produit de l'intensité par le temps étant une quantité constante, il s'ensuit que la quantité d'électricité qui est nécessaire pour fournir deux centimètres cubes de gaz hydrogène est une quantité constante. Pour l'évaluer en nombre, M. Pouillet a eu besoin de la longueur du circuit et de la tension de la source. Il a trouvé dans l'une de ses expériences, que l'intensité du courant était de 266,5, en prenant pour unité le courant thermo-électrique cuivre et bismuth, avec 20 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre, et une différence de temps, de 1° entre les deux soudures, et que la tension de la source qui le produit était de 75828, la tension de la même force thermo-électrique étant prise pour unité.

D'après cela, la quantité d'électricité qui donne 2 cent. cubiques d'hydrogène en 500″, est 266 fois et demie la quantité d'électricité qui passe dans le même temps dans le circuit thermo-électrique, pris pour unité.

Or, dans un gramme d'eau il y a $0^{gr.},1110$ d'hydrogène, qui correspondent à un volume de $1241^{cent.\ c.},61$.

Donc, pour décomposer un gramme d'eau, il faut une quantité d'électricité représentée par

$$266,5 \times \frac{1241,61}{2} = 165,443.$$

L'unité de temps étant 500″, si l'on prend une minute

et 100° au lieu de 1°, pour la différence de température entre les deux soudures, on aura, pour la quantité d'électricité, 13787.

D'après cela, pour décomposer un gramme d'eau, il faut une quantité d'électricité 13787.

Ce mode d'expérimentation peut être utile dans quelques circonstances, c'est pour ce motif que nous l'avons fait connaître.

CHAPITRE VIII.

COMPARAISON DES INTENSITÉS ÉLECTRIQUES NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE LES PLUS FAIBLES ET LES PLUS FORTES COMMOTIONS.

1289. M. Pouillet a commencé par déterminer la conductibilité relative du corps humain, par rapport aux métaux ou aux liquides. Il a fait passer le courant d'une pile par une boussole, puis il entrait par une main et sortait par l'autre; les mains étaient entièrement plongées dans des vases remplis de mercure où aboutissaient les fils de communication. Dans une des expériences, la déviation était de 21°, 30'. Il a substitué ensuite au fil un tube rempli de sulfate de cuivre, de $4^{mil.},2$ de diamètre. Pour obtenir la même déviation, il a fallu donner à la colonne de liquide une longueur de 488 millimètres; en rapportant la conductibilité à celle du cuivre, on voit que le corps est équivalent à un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre, et de 440,000 mètres, ou 11 lieues de longueur.

Avec un courant de cette force, il ne se produit dans le corps aucun phénomène appréciable. Quand on ne fait que transmettre le courant dans le corps par les extrémités des doigts, au lieu des mains entières, la déviation de l'aiguille aimantée diminue considérablement, et on éprouve alors une commotion très-faible au bout des doigts : c'est la limite inférieure des contractions perceptibles. On voit, d'après cela, comme on le savait

déjà, que la commotion ne dépend pas uniquement de la quantité de l'électricité qui passe, ni de la tension de la source, mais bien de la quantité d'électricité qui passe, dans un temps donné, par chacune des fibres.

Suivant lui, en admettant que la section du bras est 20 ou 30 fois plus grande que la section du doigt, et que ces deux corps soient composés de substances homologues, chaque élément superficiel du doigt sera, pendant le passage du courant, traversé par une quantité 20 ou 30 fois plus grande que l'élément du bras.

C'est là probablement la cause pour laquelle une intensité électrique qui excite dans le doigt une vive commotion, peut traverser le bras sans y produire le moindre effet sensible. Il peut se faire aussi que près des articulations, la partie osseuse étant plus forte et étant moins conductrice, le courant se resserre de manière à faire passer une plus grande quantité d'électricité dans les autres tissus meilleurs conducteurs.

M. Pouillet, en s'appuyant sur les lois de la conductibilité et de la distribution des courants dans les conducteurs complexes et hétérogènes, a expliqué d'une manière satisfaisante les principaux phénomènes que présente la commotion, soit dans ses intensités, soit dans les points qu'elle frappe de préférence.

Les lois qu'il a calculées lui ont permis de déterminer la quantité d'électricité qui est nécessaire pour produire une commotion donnée dans un circuit déterminé. C'est ainsi qu'il a trouvé que l'intensité du courant qui donne dans deux doigts de la main la commotion la plus insupportable, est seulement 18 ou 20 fois plus grande que l'intensité du courant qui donne dans les mêmes circonstances la plus faible commotion que l'on puisse percevoir distinctement.

Quand un membre quelconque a reçu pendant quelques secondes la commotion d'un courant continu d'une intensité constante, la douleur devient moins vive, les effets de la commotion sont moins intenses, et l'on éprouve alors dans tout le trajet du courant un malaise

résultant de l'ébranlement qui dure encore après que le courant a cessé.

M. Pouillet a étudié aussi, comme l'avait fait avant lui M. Masson, l'effet des courants intermittents; il s'est servi à cet effet, comme lui, d'une roue à dents de métal et à dents de bois. Il a trouvé que lorsque la durée des intermittences est d'environ $\frac{1}{300}$ de seconde, il est impossible de distinguer la discontinuité du passage de l'électricité, c'est-à-dire, que l'effet produit est le même que si le courant était continu. Si la durée de l'intermittence est plus grande que $\frac{1}{300}$, on sent plus ou moins d'une manière distincte un temps de repos.

CHAPITRE IX.

DESCRIPTION D'UN APPAREIL POUR MESURER LES EFFETS CALORIFIQUES PRODUITS PAR LE PASSAGE D'UN COURANT DE FAIBLE INTENSITÉ DANS UN CIRCUIT MÉTALLIQUE.

1290. Nous avons fait connaître, dans le troisième volume (443), un moyen très-simple, à l'aide duquel M. Peltier est parvenu à évaluer les effets calorifiques produits dans des circuits métalliques par le passage d'un courant d'une faible intensité. Depuis, ce physicien ayant complété l'appareil dont il s'était servi pour faire ses expériences, nous allons en donner ici la description (fig. 22) :

A, B. Deux couples thermo-électriques en bismuth et antimoine.

C. Fil de cuivre qui unit l'antimoine a' du couple supérieur au bismuth b' du couple inférieur.

D, E. Fils de cuivre communiquant au galvanomètre G de 84 tours, et complétant le circuit entre le bismuth supérieur B″ et l'antimoine inférieur a''.

F, H. Extrémités libres, ou mâchoires formant pince, qu'un ressort applique l'une sur l'autre.

J, K. Barreau d'antimoine a''' et de bismuth b'' qui doit traverser le courant voltaïque.

L, M, m'. Conducteurs de la pile P.

N. Lame de cuivre, avec cercle gradué, surmonté d'une aiguille aimantée O, servant à mesurer la quantité d'électricité qui parcourt le cercle entier *m*, *n*, *m'*, *k*, *b'''*, *a''*, *j*, L, P. Le galvanomètre G indique celle qui est produite par les variations de température des mâchoires F, H, qui sont la conséquence de celles du barreau J K; le circuit fermé de cette électricité est *a' c b' a'''* E G D B'' *a'*.

A'. Boule d'un thermomètre à air, traversée par un barreau mixte de bismuth et d'antimoine, dont la soudure S est au milieu.

C'. Tube capillaire, ~~plongeant~~ dans un vase *d*, plein d'alcool coloré.

E'. Hauteur de la colonne dans le tube. On place derrière une échelle graduée.

F', G'. Conducteurs en cuivre pour recevoir le courant de la pile P.

On voit, par la description que nous venons de donner, que la pince thermo-électrique est une véritable pile thermo-électrique, disposée de manière à pouvoir serrer dans ses extrémités libres le fil conducteur sur lequel on veut opérer. M. Peltier emploie encore dans ses expériences un appareil destiné à mesurer l'intensité du courant qui traverse le fil soumis à l'expérience, afin d'avoir des résultats comparables. Il a d'abord cherché si un courant d'une intensité quelconque élevait toujours la température des conducteurs homogènes; ayant placé à cet effet des fils de métal de diverse nature et n'ayant pas le même diamètre, entre les extrémités de la pince thermo-scopique, il a varié en même temps l'intensité du courant. Il a reconnu que les métaux ductiles donnent une élévation de température, quelque faible que soit le courant; que là où il y a dégagement de chaleur, il existe également, dans toute la longueur des fils, excepté aux extrémités, où elle augmente ou diminue, selon que les points d'attache qui retiennent le fil sont moins bons ou

meilleurs conducteurs que lui. C'est ainsi qu'un fil de zinc, entre des fils de cuivre et de fer de même diamètre, donne sous un courant constant des températures différentes à chacune de ses extrémités.

Nous ne rapportons pas ici les résultats des expériences, puisque nous les avons déjà fait connaître.

CHAPITRE X.

NOUVELLES OBSERVATIONS SUR L'EMPLOI DE L'ÉLECTRICITÉ A FORTE TENSION POUR FORMER DES SUBSTANCES MINÉRALES ET AUTRES.

1291. En terminant la première partie de ce volume, M. Crosse nous a communiqué de nouveaux renseignements sur les résultats qu'il a obtenus dans ses recherches sur la formation des substances minérales, au moyen des courants électriques provenant de piles composées d'un grand nombre d'éléments; nous allons les exposer ici, en raison de l'intérêt qu'ils présentent.

Dans le voisinage de Broomfield se trouve une caverne dont la voûte est en partie revêtue d'arragonite et de carbonate de chaux en très-beaux cristaux; l'eau qui découle de cette voûte tient en solution environ dix grains de carbonate de chaux et une petite quantité de sulfate de même base par pinte. Ayant rempli un verre à boire de cette eau, il l'a soumise, à l'aide de fils de platine, à l'action de deux cents paires de plaques chargées avec de l'eau ordinaire; au bout de dix jours il a aperçu sur le fil négatif des cristaux rhomboïdaux de carbonate de chaux, et sur le fil positif des bulles de gaz. Trois ou quatre semaines après, le fil négatif était complétement revêtu d'une croûte de cristaux réguliers et irréguliers de carbonate de chaux. Il est bien évident que le bicarbonate de chaux a été décomposé, sous l'action du

courant, en carbonate qui s'est déposé et en gaz acide carbonique qui s'est dégagé.

L'expérience fut répétée dans l'obscurité, avec une batterie de trente-neuf plaques de deux pouces, le fil négatif ayant été enroulé autour d'un morceau de pierre calcaire. Au bout de six semaines, tout le fil négatif était recouvert de carbonate de chaux cristallisé. L'eau épuisée de carbonate ayant été enlevée et remplacée par d'autre qui en renfermait, et ainsi de suite pendant huit mois, le fil négatif s'est recouvert d'une couche calcaire épaisse et très-rude, dont une partie était aussi blanche que la neige, et l'autre avait une couleur brune qui s'étendait en partie sur la pierre calcaire qu'entourait le fil.

1292. M. Crosse a opéré ensuite d'une autre manière; il a fait tomber de l'eau goutte à goutte pendant plusieurs semaines sur un morceau de brique ordinaire, à travers laquelle il a fait passer, au moyen de fils de platine, le courant de cent paires de plaques de cinq pouces, chargées avec de l'eau. La brique était supportée par un entonnoir de verre qui conduisait l'eau dans une bouteille placée au-dessous.

Après quatre ou cinq mois, la brique était en partie recouverte de carbonate de chaux, plus ou moins cristallisé, et des cristaux prismatiques très-fins d'arragonite étaient déposés sur la partie la plus rapprochée du pôle positif, tandis que le carbonate de chaux ordinaire était confiné du côté négatif.

1293. Le même expérimentateur a fait d'autres expériences avec une batterie de onze grands cylindres de zinc et de cuivre, chacun de neuf pouces de haut et de quatre de diamètre. Il a exposé à son action un morceau de la même brique, qui se trouvait dans un bassin de verre rempli en partie d'acide fluo-silicique, lequel ne recouvrait qu'en partie la brique; il avait pratiqué des petits trous aux extrémités de celle-ci pour y insérer les fils de platine. Peu de temps après, le plomb contenu dans l'acide se déposa au pôle négatif, et, au bout de six semaines, on aperçut des petits cristaux de silice à l'extrémité

de la formation de plomb. Le plomb ayant été enlevé, la silice se déposa au pôle positif, au lieu du pôle négatif. En deux ou trois mois, on aperçut au fond du vase un prisme hexaèdre terminé par une pyramide également hexaèdre et en tout semblable au quartz, mais dont la dureté était telle qu'elle ne lui permettait pas de rayer le verre. Au bout de deux ou trois mois, ce cristal avait perdu de sa transparence, en conservant toutefois sa forme. Un autre cristal qui était placé dans un endroit sec, après ce temps, rayait facilement le verre. Il avait conservé sa transparence et était bien cristallisé. D'où peut donc provenir une différence aussi remarquable entre les propriétés physiques de deux cristaux qui paraissent avoir été formés dans les mêmes circonstances? Pour répondre à cette question il faudrait examiner avec soin leur composition, qui présenterait probablement des différences.

1294. M. Crosse a soumis à l'action d'une batterie de 160 couples de deux pouces une solution de silicate de potasse avec un morceau de brique poreuse placé au milieu du liquide, au-dessus duquel il s'élevait. En trois semaines de temps, le fil positif s'était encroûté de matières siliceuses, et quelques jours après on vit paraître quinze ou seize cristaux hexaèdres qui s'élevaient en dehors de la ligne, entre les deux fils, sur la surface de la brique.

1295. Dans une autre expérience, un morceau de schiste argileux ayant été suspendu par des fils de platine dans une solution de silicate de potasse, il se déposa des masses hexaédriques de silice gélatineuse autour du fil positif qui disparurent et firent place à une formation de calcédoine à l'extrémité positive du schiste argileux. Nous donnons ici la liste des substances minérales que M. Crosse a formées avec des appareils voltaïques à fortes tensions : le carbonate de chaux, l'arragonite, le quartz, le protoxide de cuivre, l'arséniate de cuivre, le carbonate bleu, le carbonate vert, le phosphate de cuivre et le sulfure, le carbonate de plomb, le sulfure d'argent, le carbonate de zinc mamelonné, la calcédoine, l'oxide

d'étain, l'oxide jaune de plomb, les sulfures d'antimoine et de zinc, l'oxide noir de fer mamelonné, le sulfure de fer, le soufre cristallisé. Presque toutes ces substances ont été obtenues par nous, il y a une dizaine d'années, avec des appareils électro-chimiques simples, qui produisent des effets aussi marqués que des appareils composés, convenablement disposés.

CHAPITRE XI.

ACTION DES COURANTS ÉLECTRIQUES D'INTENSITÉ DIFFÉRENTE SUR L'ALBUMINE A L'ÉTAT LIBRE OU A L'ÉTAT DE COMBINAISON.

1296. Nous avons déjà vu (977) comment se comporte l'albumine qui est soumise à l'action des courants. M. Golding-Bird a repris les expériences qui avaient déjà été faites à ce sujet, dans le but d'expliquer les effets divers qui ont été obtenus, et de voir si, comme M. Raspail et d'autres physiciens l'ont annoncé, l'action de l'électricité est le moyen le plus délicat que l'on possède pour reconnaître la présence de l'albumine dans un liquide. Il s'est servi à cet effet de courants électriques n'ayant pas la même intensité, de solutions d'albumine à différents degrés de concentration, et de lames décomposantes de divers métaux. C'est en variant ainsi les expériences qu'il est parvenu à prouver que l'action des courants électriques sur l'albumine est constante.

M. Golding-Bird, pour éviter la chaleur dégagée par le passage de courants électriques d'une tension considérable, a fait usage d'une trentaine de petites plaques (2 pouces et demi en carré), excitées seulement par une faible solution de sel et disposées en couronne de tasse. Il a d'abord opéré sur de l'albumine liquide se trouvant dans un état de non combinaison. Ayant mis dans un vase de verre un peu de sérum de sang dissous, il plon-

gea dedans deux fils de platine en communication avec l'appareil voltaïque; en quelques minutes un dépôt nuageux considérable se montra près de la lame positive, mais sans y adhérer. L'expérience fut répétée dans deux vases contenant la même solution, et unis entre eux au moyen d'asbeste ou de coton; on vit alors une abondante coagulation d'albumine dans le vase positif, tandis que le liquide du vase négatif conservait sa liquidité. Après six heures d'expérience, le liquide positif était acide, et le liquide négatif était limpide et alcalin, et ne se coagulait plus par la chaleur. Cependant l'addition d'acide acétique ou nitrique produisait un précipité abondant d'albumine. Ce résultat est facile à expliquer: la décomposition du sel marin avait amené de la soude du côté négatif, d'où était résulté un albuminate de soude que l'acide avait décomposé.

L'expérience fut répétée ensuite avec six paires des mêmes plaques, chargées avec une faible solution de sel; en employant encore des fils décomposants en platine, les résultats furent précisément les mêmes. Avec des fils de cuivre, le fil positif s'oxidait et était aussitôt recouvert d'une couche d'albumine qui augmentait rapidement.

La communication entre les vases et la pile ayant été renversée de manière que le vase positif devînt négatif, et réciproquement, on vit l'albumine qui avait été déposée, disparaître peu à peu et se reproduire sur la nouvelle lame positive.

Ces expériences prouvent que lorsque l'albumine est coagulée par l'action du courant électrique, il existe du côté positif de l'acide hydrochlorique mêlé de chlore, tandis que du côté négatif on voit apparaître de l'alcali.

1297. On voit maintenant en quoi diffèrent les résultats annoncés par M. Golding-Bird, et ceux qui ont été observés par Brande. Ce dernier ayant trouvé que la coagulation de l'albumine avait lieu presque constamment sur la lame négative d'une pile de 120 éléments, annonça que l'albumine devait sa solubilité dans l'eau à la présence de

la soude, et que la séparation de cet alcali au pôle négatif déterminait la coagulation de l'albumine. M. Golding, en montrant, comme du reste on l'avait déjà observé, que l'albumine se coagulait au pôle positif, en employant un pouvoir électrique très-faible, rendit difficile l'explication de Brande. Suivant lui, une solution d'albumine qui serait exempte de la moindre trace de sel, ne serait pas affectée par un courant électrique dont l'intensité serait insuffisante pour déterminer la séparation de ses particules. Il considère la coagulation comme le résultat d'effets secondaires qu'il envisage de la manière suivante: l'albumine ne peut jamais être obtenue exempte de chlorure de sodium qui s'y trouve combiné, ou à l'état de mélange. Lorsqu'on la soumet à l'action de la pile, le chlore passe du côté positif, et les bases du côté négatif. Aussitôt que le chlore est mis en liberté, l'albumine se précipite sur la lame positive, attendu qu'une très-petite portion de chlore est suffisante pour précipiter une quantité considérable d'albumine; du côté négatif, on trouve au contraire des albuminates alcalins qui sont solubles.

En opérant avec des lames décomposantes en cuivre, les effets sont modifiés en raison de l'oxidation du métal; l'oxide formé se combine avec l'albumine et produit un albuminate de cuivre insoluble, qui se précipite. On voit donc que pour reconnaître dans une solution la présence de l'albumine il suffit d'opérer avec une pile de cinq ou six éléments et des lames décomposantes en cuivre. Ces résultats prouvent que la précipitation de l'albumine est réellement le résultat d'un effet secondaire.

Voici maintenant comment M. Golding explique la différence des effets obtenus par Brande et par lui: Brande a toujours observé la coagulation au pôle négatif, en employant des batteries puissantes et chargées avec de forts acides; l'albumine, rendue insoluble par le chlore, a été transportée mécaniquement par le courant positif sur la lame négative. Nous n'osons adopter ni rejeter

cette explication, dans la crainte d'induire en erreur le lecteur; ainsi nous nous abstenons de prononcer.

1298. M. Golding a opéré ensuite directement sur l'albuminate de soude aussi neutre que possible et dissous dans l'eau. Les deux vases furent mis en communication au moyen de fils de platine, avec une pile de trente éléments. La coagulation fut encore produite en peu de temps dans le vase positif. Dans ce cas, il a pu attribuer le dépôt de l'albumine à l'action du courant électrique, puisque l'albumine joue le rôle d'acide par rapport à la soude. Les effets furent les mêmes avec une pile de cinq ou six éléments.

Les résultats obtenus en soumettant à l'expérience des combinaisons d'albumine avec des acides, n'ont pas été aussi satisfaisants, attendu que le dégagement du chlore détermine presque toujours la coagulation de l'albumine dans le vase positif. Cependant, M. Golding est parvenu à coaguler l'albumine au pôle négatif, et a prouvé ainsi que l'albumine peut remplir aussi le rôle de corps électro-positif.

CHAPITRE XII.

SUR LES RAPPORTS MAGNÉTIQUES GÉNÉRAUX DES MÉTAUX.

1299. M. Faraday a publié quelques considérations, que nous devons faire connaître, sur le rapport magnétique des métaux, en s'appuyant sur une idée assez généralement reçue en physique, savoir : que tous les métaux sont magnétiques comme le fer, mais à des températures très-différentes.

Ayant suspendu à des fils très-fins de platine des morceaux de plusieurs métaux dont il avait abaissé considérablement la température, il présenta ces derniers à l'une des extrémités d'une aiguille astatique très-sensible, afin de voir s'ils étaient magnétiques ou non. Les expériences furent faites dans une atmosphère d'environ 25 degrés Farenheith. Les métaux suivants, soumis à des températures inférieures à la congélation du mercure, ne donnèrent aucune trace de magnétisme.

L'arsenic.
L'antimoine.
Le bismuth.
Le cadmium.
Le cobalt.
Le chrome.
Le cuivre.
L'or.
Le plomb.
Le mercure.
Le palladium.
Le platine.
L'argent.
L'étain.
Le zinc.

M. Faraday a reconnu que le cobalt et le chrome, dans un très-grand état de pureté, ne sont pas magnétiques, et que, toutes les fois qu'ils possèdent cette propriété, ils ne la doivent qu'à des traces de fer ou de nickel que l'analyse indique.

1300. Cet habile physicien, après avoir vérifié les expériences de M. Barlow sur les conditions magnétiques du fer chaud, a cherché si le nickel se comportait comme le fer; il a trouvé que la température où il perd ses propriétés magnétiques est beaucoup plus basse que dans le fer, mais qu'elle est également définie et distincte. Chauffé et ensuite refroidi, ce métal reste non magnétique longtemps après que sa température est descendue au-dessous de la chaleur visible dans l'ombre. Quelques expériences lui ont indiqué que la température propre à enlever au nickel son magnétisme est d'environ 630 degrés. Il suffit d'un léger changement dans cette limite pour lui donner ou enlever cette propriété.

1301. Suivant lui, bien qu'on n'ait pas observé encore le magnétisme dans tous les métaux, parce qu'on n'a pu obtenir une température assez basse, tous les métaux cependant doivent avoir des rapports magnétiques semblables tels, qu'il y a pour chacun d'eux une certaine température au-dessous de laquelle ils sont magnétiques à la manière du fer et du nickel, tandis que lorsqu'ils la dépassent, ils ne peuvent développer cette propriété; il paraîtrait donc que cette capacité pour le magnétisme dépendrait, comme la volatilité et la fusibilité, d'une relation particulière entre les molécules des corps.

1302. M. Faraday désirant connaître la relation entre la température qui enlèverait à un aimant son pouvoir sur le fer doux, avec celle qui priverait ce dernier de sa faculté d'agir sur l'aimant, a élevé graduellement la température de ce dernier. Il a trouvé qu'à peine au point d'ébullition de l'huile d'amande, il perdait sa polarité presque soudainement, et agissait ensuite avec un aimant comme du fer doux refroidi; qu'il fallait ensuite l'élever tout à coup à la chaleur orange pour qu'il perdît

son pouvoir comme le fer doux. La tem
quelle la polarité était détruite paraissai
la dureté de l'acier et la condition dans
trouvait.

En opérant sur des fragments d'aiman
pouvoir très-élevé, M. Faraday a reconnu
vaient leur polarité à des températures pl
les aimants artificiels; que la chaleur de l'h
ne paraissait pas affaiblir leur faculté mag
ne perdaient leur polarité que justement
l'incandescence visible à l'ombre; mais qu
température jusqu'à une température plus
l'incandescence complète, ils se comporta
fer doux et perdaient ensuite tout à coup

CHAPITRE XIII.

OBSERVATIONS DE M. FARADAY SUR LA MEILLEURE FORME A DONNER AUX APPAREILS VOLTAIQUES.

1303. Si l'on construisait une batterie voltaïque de zinc et de platine, ce dernier métal entourant le premier, comme dans l'appareil de Wollaston, et que l'on prît pour liquide une dissolution d'acide sulfurique, on n'aurait pas besoin de division isolante entre les surfaces de platine contiguës, pourvu qu'elles ne se touchassent pas, le même acide qui, entre le zinc et le platine, exciterait l'action puissante de la batterie, ne produirait pas entre les deux surfaces de platine de décharge d'électricité, et ne diminuerait en rien le pouvoir de l'auge. Ce résultat est facile à concevoir, si l'on se rend compte des effets électriques qui se manifestent dans la réaction du liquide sur le zinc.

Si le métal qui entoure le zinc est le cuivre, et que l'acide soit de l'acide nitro-sulfurique, alors il y a une décharge entre les deux morceaux de cuivre contigus, pourvu qu'il n'y ait pas d'autre issue par laquelle les forces puissent circuler; car s'il en existe une, le retour de la décharge est très-diminué.

M. Faraday, guidé par les principes, a construit un appareil voltaïque avec des morceaux de cuivre et de zinc disposés comme dans l'appareil de Wollaston et séparés l'un de l'autre au moyen d'une feuille de papier, afin de

prévenir le contact métallique (1). En examinant cet appareil, il a trouvé qu'il était le même que celui qui a été décrit par le docteur Hare (2). Dans l'appareil de Hare, les plaques de cuivre contiguës sont séparées par de légères plaques de bois; on verse l'acide sur les plaques, ou on l'en éloigne au moyen du quart de révolution d'un axe auquel sont fixées une auge contenant les plaques et une autre destinée à rassembler et à contenir le liquide. Les plaques de zinc dont M. Faraday a fait usage ont été coupées dans un morceau de métal laminé, et soudées aux feuilles de cuivre, comme l'indique la fig. 23. Après avoir été pliées, comme dans la fig. 24, elles furent réunies (fig. 25), pour être placées dans une boîte de bois. De petits morceaux de liége servaient à empêcher les plaques de zinc de toucher aux plaques de cuivre, et une feuille de papier fut interposée entre les surfaces contiguës de cuivre pour empêcher leur contact. Un appareil ainsi formé de quarante paires de plaques de trois pouces carrés fut comparé, pour enflammer un fil de platine, opérer une décharge entre des pointes de charbon, et produire des commotions, à 40 paires de plaques de 4 pouces, ayant doubles plaques de cuivre et disposées dans des auges de porcelaine à la manière ordinaire. Les effets furent les mêmes dans l'un et l'autre appareil.

Pour comparer leur pouvoir décomposant, M. Faraday a fait les expériences suivantes : les auges ayant été chargées d'une quantité connue d'acide, le courant électrique passait à travers un électromètre voltaïque pourvu de lames décomposantes de 4 pouces de long et de 2 à 3 pouces de large, et l'on fit usage successivement des acides sulfurique, nitrique et hydro-chlorique. On prépara d'abord un acide composé de 200 parties d'eau, 4 $\frac{1}{2}$ parties d'acide sulfurique, et 4 parties d'acide ni-

(1) Transact. phil., 2e partie, 1835.
(2) Philosophical magazine, 1834, vol. LXIII, p. 241.

trique. On chargea ainsi l'auge contenant 40 paires de plaques de 3 pouces, et 4 autres de porcelaine, contenant chacune 10 paires de plaques, avec des plaques doubles de cuivre de 4 pouces carrés. Ces deux batteries furent successivement mises en expérience. La première auge produisit un effet tel, que la moyenne de quatre expériences donna pour chaque équivalent d'eau décomposée dans l'électromètre voltaïque, 88,4 d'équivalents de zinc dissous. Avec les auges de porcelaine, les équivalents de zinc détruits furent de 141 pour toute la batterie, pour chaque équivalent d'eau décomposée.

Ces résultats et d'autres que nous ne rapportons pas ici ne laissent aucun doute sur l'égalité ou même la supériorité de la nouvelle forme de batterie voltaïque sur les meilleures qui sont en usage.

1304. En résumé, voici les avantages de la nouvelle pile : 1° d'être très-compacte, puisque 100 paires de plaques n'occupent pas plus de 3 pieds de long; 2° en faisant tourner l'auge sur des pivots de cuivre, qui reposent sur des supports de cuivre, ces derniers donnent des limites fixes, qui ont le grand avantage d'unir l'appareil qu'on emploie avec la batterie avant de faire fonctionner celle-ci; 3° l'auge peut être mise promptement en état de servir, attendu qu'une petite quantité d'une dissolution d'acide suffit pour charger 100 paires de plaques de 4 pouces; 4° en faisant faire à l'auge un quart de révolution, elle devient active, et l'on retire le grand avantage de l'effet du premier contact du zinc et de l'acide, qui est double et quelquefois même triple de celui que la batterie peut produire une minute après quand elle est en repos; 5° quand l'expérience est terminée, on peut verser facilement l'acide qui est entre les plaques, de sorte que la batterie ne dépense pas sa force inutilement pendant que ses extrémités ne sont plus en contact ; l'acide n'est pas épuisé sans nécessité; le zinc n'éprouve pas de perte sans utilité; en outre la charge étant mêlée uniformément, on en retire un très-bon effet; en procédant à une seconde expérience, on obtient de nouveau

l'effet important du premier contact; 6° la consommation du zinc est moindre, puisqu'il paraît, suivant M. Faraday, que le zinc dans la nouvelle forme de batterie est trois fois aussi effectif que celui de la forme ordinaire; 7° outre l'importance de la conservation du métal, la batterie est plus brillante et plus facile à ménager, ensuite les surfaces des plaques de zinc et de cuivre peuvent être rapprochées davantage que dans l'ancienne, quand on construit la batterie; 8° comme conséquence de la moindre consommation du métal, on peut se servir de plaques de zinc laminé au lieu de plaques épaisses; les premières ont paru supérieures dans l'action à celles-ci, peut-être en raison de la plus grande pureté du zinc; 9° il y a économie dans l'acide employé, puisqu'il est en rapport avec la quantité de zinc dissous; 10° l'acide est aussi plus facilement épuisé et il est en si petite quantité que l'on n'a jamais l'occasion de se servir de la charge ancienne, ce qui est un inconvénient quand on y est forcé, en raison du cuivre qu'elle renferme; 11° en employant pour la charge le mélange indiqué d'acide nitrique et sulfurique, il ne se développe pas de gaz dans les auges, de sorte qu'une batterie de quelques centaines de plaques peut être fermée sans inconvénient; 12° quand l'acide est épuisé, on peut l'enlever et le remplacer par un autre avec une grande facilité, et laver les plaques.

1305. M. Faraday a trouvé quelques inconvénients dans l'emploi de la nouvelle pile qu'il n'a pas encore pu faire disparaître: l'un d'eux est la grande difficulté que l'on rencontre à faire une auge de bois constamment humide, sous les alternatives d'humidité et de sécheresse auxquelles est soumis l'appareil voltaïque. Un autre inconvénient est la précipitation du cuivre sur la plaque de zinc, effet qui provient probablement de ce que les papiers interposés entre les plaques de cuivre retiennent de l'acide quand l'auge est vide, lequel agissant lentement sur le cuivre, forme un sel qui se mêle graduellement avec la charge suivante, et se réduit sur la plaque

de zinc. Il pense qu'en se servant de morceaux de verre on pourra remédier à cet inconvénient.

Il paraît que la grande supériorité des auges de M. Faraday dépend de la très-courte distance qui existe entre les surfaces de cuivre et de zinc, laquelle n'est que de $\frac{1}{10}$ de pouce, et de la qualité supérieure du zinc laminé sur le zinc ordinaire.

1306. M. Faraday a donné quelques résultats pratiques sur la construction et l'emploi de la nouvelle batterie. Sa batterie, composée de 40 paires de plaques, ayant d'abord été chargée avec un mélange de 200 parties d'eau et de 9 d'acide sulfurique, la batterie entière perdait 186,4 équivalents de zinc pour l'équivalent d'eau décomposée dans l'électromètre voltaïque. En chargeant l'appareil avec 200 parties d'eau et 16 parties d'acide hydrochlorique, il y avait 152 équivalents de zinc pour un équivalent d'eau décomposée. Avec un mélange de 200 parties d'eau et de 8 d'acide nitrique, la batterie perdait 74,16 équivalents de zinc pour 1 d'eau décomposée. Les acides sulfurique et hydrochlorique dégageaient beaucoup d'hydrogène sur les plaques, tandis que le dégagement était nul avec l'acide nitrique. On voit donc que l'acide nitrique a une supériorité sur les autres. Il résulte aussi de là qu'on a un grand avantage à ajouter de l'acide nitrique aux acides sulfurique et hydrochlorique.

1307. On a aussi un grand avantage à employer du zinc pur, attendu que la plupart des espèces de zinc, lorsqu'elles réagissent sur l'acide sulfurique, laissent plus ou moins une matière insoluble sur leur surface, en forme de croûte, composée de cuivre, de plomb, de zinc, de fer et de caducium à l'état métallique, qui diminue l'effet général. Le meilleur zinc est celui qui se dissout lentement dans une dissolution d'acide sulfurique en conservant son brillant. Le zinc du Brabant de Mosselman produit cet effet.

Lorsqu'on s'est servi des plaques d'une batterie, il faut

avoir l'attention d'enlever les dépôts métalliques qui sont formés sur les surfaces, surtout lorsque l'on veut évaluer avec exactitude sa force, attendu, comme on le sait depuis longtemps, que les batteries voltaïques sont beaucoup plus puissantes quand les plaques sont nouvelles que lorsqu'elles ont servi deux ou trois fois.

Les personnes qui voudront avoir quelques renseignements sur le nombre de plaques et les dimensions qu'elles doivent avoir pour obtenir un maximum d'effet, pourront consulter le mémoire de M. Faraday, ci-dessus indiqué, paragraphes 1151, 1152, etc.

CHAPITRE XIV.

DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE PRODUITE DANS LA DÉCHARGE DE LA TORPILLE.

1308. On a vu (1) que Walsh, Ingenhouze et Faklberg ont avancé avoir vu une étincelle dans la décharge du gymnote, tandis que d'autres physiciens n'ont pu observer ce phénomène dans les circonstances les plus favorables. Le P. Santi-Linari est parvenu à tirer l'étincelle de la torpille de la manière suivante (2) : il a pris un tube en verre recourbé en U, rempli en partie de mercure, à chaque extrémité duquel était fixé, au moyen d'un bouchon de liége et de cire d'Espagne, un fil de fer dont l'un des bouts s'arrêtait à une très-petite distance de la surface du mercure. L'appareil était fixé avec du mastic sur un socle de bois enduit de vernis. Les extrémités des fils de fer situés en dehors du tube étaient mises en communication avec des fils très-courts de platine, terminés par des lames du même métal, destinées à mettre en communication l'appareil avec diverses parties de la torpille. En établissant cette communication, il a obtenu une étincelle électrique visible, même pendant le jour, à l'endroit où les conducteurs étaient interrompus. Le P. Linari a répété l'expé-

(1) T. IV, p. 256.
(2) Biblioth. univers. de Genève, t. VIII, 1837.

rience avec des hélices et des spirales électro-dynamiques, de la manière suivante : ayant pris un fil de cuivre de 577 mètres de long, il en fit deux hélices droites et trois spirales planes carrées ; il introduisit dans une des hélices un cylindre de fer doux, et le système d'hélices fut lié ensemble et terminé par deux lames d'argent munies d'un manche isolant. Il pratiqua une interruption dans la portion du fil qui réunissait la dernière hélice avec une des lames d'argent, et les extrémités du fil dans cette interruption furent plongées dans le mercure et bien amalgamées. La torpille ayant été essuyée, fut posée sur une lame de verre, avec une des lames d'argent sur le dos et l'autre sur le bas-ventre. L'animal ayant été irrité, un des bouts du fil fut plongé dans le mercure, puis retiré légèrement et replongé de nouveau. M. Linari aperçut alors l'étincelle qui éclatait entre le fil et le mercure. Il la vit également en se bornant à frotter l'une contre l'autre les deux extrémités amalgamées du fil ; avec une seule torpille, M. Linari a obtenu jusqu'à 10 étincelles de suite, très-visibles et brillantes.

CHAPITRE XV.

NOUVELLES OBSERVATIONS SUR LA PRODUCTION ET LA DESTRUCTION DE L'INACTIVITÉ DU FER PLONGÉ DANS L'ACIDE NITRIQUE.

En terminant l'impression de la première partie de ce volume, nous apprenons que M. Schœnbein a publié un nouveau travail (1) sur les propriétés anormales du fer, qui nous ont déjà occupé (1026); nous croyons être agréable au lecteur en présentant ici un précis de ce travail :

1re *Expérience.* — M. Schœnbein a trouvé que l'on ne peut jamais faire passer le fer à l'état passif, en plongeant dans l'ordre indiqué (1026) les deux extrémités d'un fil de fer, dont l'une d'elles a été chauffée, dans deux vases différents remplis d'acide nitrique, communiquant entre eux au moyen d'une mèche d'asbeste, quelque courte qu'elle soit. Il en est de même encore en employant, comme moyen de communication, des siphons de longueur diverse remplis d'acide nitrique ou un fil de platine. Si le fil de fer sert de pôle positif à un appareil voltaïque composé d'un petit nombre d'éléments, et qu'on ferme le circuit en le plongeant dans le liquide, ce fil devient inactif, quel que soit le mode de communication établi entre les deux vases.

(1) Biblioth. univers. de Genève, juin 1837, p. 415.

2e *Expérience.*—Supposons que l'on plonge les deux extrémités d'un fil de cuivre CPD (fig. 26) dans deux vases A et B, qui renferment de l'acide nitrique à 1, 3 de densité; si l'on plonge dans A l'extrémité chauffée E d'un fil de fer EF, et dans B l'extrémité laissée intacte, celle-ci devient passive.

3e *Expérience.*—CPD est un fil de fer, l'extrémité C est active dans l'acide, D est passif, et le fil EF est disposé comme ci-dessus; dans ce cas aussi F devient inactif.

4e *Expérience.*—Tout étant disposé comme ci-dessus, E et F sont à l'état ordinaire; on plonge d'abord E dans A, puis F dans B, F devient encore inactif.

Quel que soit le nombre de fils de fer à l'état ordinaire qu'on plonge dans les vases, de la manière indiquée, toutes les extrémités en B deviennent passives, tandis que celles en A sont actives.

5e *Expérience.*—CPD étant un fil de fer dont l'extrémité C est active, et l'extrémité D passive, si l'on plonge dans B l'extrémité F à l'état naturel d'un autre fil de fer EF, puis dans A son extrémité E aussi à l'état naturel, dans le même instant celle-ci devient active ainsi que D; dans ces mêmes circonstances, les quatre extrémités qui plongent dans le liquide se trouvent toutes actives.

6e *Expérience.*—Si l'on plonge les quatre fils polaires de deux piles de quatre éléments chacune, dans deux vases contenant de l'acide nitrique ordinaire, de telle manière que le pôle positif de l'une se trouve avec le pôle négatif de l'autre dans le même vase et réciproquement; si ensuite on plonge dans l'un des vases l'extrémité chauffée d'un fil de fer et dans l'autre l'extrémité du même fil dans l'état naturel, cette dernière est inactive; mais ce qu'il y a de particulier, c'est que l'inactivité du fer ne se manifeste que dans le cas où l'on courbe l'extrémité naturelle du fil et qu'on la plonge dans l'acide de manière à ce que la courbure y parvienne avant l'extrémité.

M. Schœnbein a interprété de la manière suivante les faits que nous venons de rapporter :

1re *Expérience.*—Si l'extrémité naturelle d'un fil de fer ne devient pas inactive lorsque les deux extrémités du fil plongent dans deux vases différents, bien qu'ils communiquent ensemble avec de l'asbeste, un syphon ou un fil de platine, cela tient à ce que le courant électrique qui rend le fer passif doit avoir une certaine intensité qu'il n'a pas quand ce courant a un trajet d'une certaine longueur à parcourir dans le liquide. Une preuve à l'appui de cette explication, c'est que si l'on fait passer dans le fer le courant d'une pile, il devient inactif, quel que soit le mode de communication établi entre les deux vases.

2e *Expérience.*—Pour expliquer le fait qui est mis en évidence par cette expérience, il faut se rappeler la résistance que les métaux opposent à un courant sur le passage duquel ils se trouvent, résistance qui est très-faible ou nulle quand les métaux interposés sont attaqués par le liquide qui traverse le courant. Quand le fil de communication CPD est formé d'un métal qui est attaqué par l'acide nitrique, le courant qui part de F n'éprouve aucun affaiblissement en entrant par l'extrémité D; il en est de même en sortant de C pour entrer dans le liquide en A.

M. Schœnbein fait observer que ces deux propriétés de laisser entrer et sortir sans l'affaiblir un courant venu du liquide et d'agir chimiquement sur le même liquide, ne se trouvent point réunies par hasard dans le même métal; qu'elles sont toujours réunies toutes les deux dans des métaux très-différents les uns des autres, de sorte que l'une dépend de l'autre.

3e *Expérience.*—Pour expliquer le fait que cette expérience met en évidence, il faut admettre qu'à l'instant où F plonge dans B, il y a deux courants dans la même direction, l'un qui part de C et traversant l'acide entre dans E, tandis que l'autre partant de F ne dure qu'un instant et traverse l'acide pour aller en D. Ce dernier, suivant M. Schœnbein, serait tellement affaibli par la résistance des extrémités passives D et E, que de retour en F il ne serait plus assez fort pour le rendre passif; mais le

courant parti de C lui donne, en se joignant à lui, la force nécessaire pour produire cet effet.

4e *Expérience.* — L'extrémité D étant la seule qui soit passive, le courant produit par l'immersion de F n'éprouve que la moitié de la résistance qu'il éprouverait dans le même moment si E était aussi passif; mais la perte qui en résulte en D n'est pas si considérable que le courant n'ait plus la force nécessaire à la production de l'inactivité.

5e *Expérience.* — Cette expérience montre pourquoi les deux extrémités E, F deviennent actives quand on les plonge dans le liquide. Tant que F plonge seul, aucun courant n'est possible, et cette extrémité se trouve à l'état naturel exactement comme tout le fil de fer ordinaire plongé dans de l'acide nitrique. En introduisant l'autre extrémité E dans l'acide de A, à l'instant de son immersion les deux courants qui partent de F et de C pénètrent dans E et se rendent négatifs; quant à l'extrémité inactive D, son passage à l'état actif, qui a lieu alors, est dû au courant qui part de F, pour lequel D est le pôle négatif. Or, si C et E étaient de platine ou des fils de fer inactifs, ce courant éprouverait un si grand affaissement qu'arrivé en D il ne serait plus assez fort pour le rendre actif, comme dans une expérience précédente; mais dans le cas actuel, en atteignant D il est assez fort pour le rendre actif.

6e *Expérience.* — M. Schœnbein avoue qu'il est très-difficile de rendre compte des faits auxquels cette expérience a conduit; il a essayé cependant d'en donner une explication; mais nous ne le suivrons pas dans le développement de ses idées à cet égard.

Les effets produits dans les expériences que nous venons de rapporter étant dus à des différences de courant, il faudrait, pour en donner une théorie satisfaisante, les avoir mesurés avec une grande exactitude; ce que n'a pas fait M. Schœnbein.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE DU CINQUIÈME VOLUME.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LA PREMIÈRE PARTIE DE CE VOLUME.

LIVRE XI.

DES ACTIONS LENTES.

CHAPITRE PREMIER.

DES CAUSES QUI EXERCENT UNE INFLUENCE SUR LES ACTIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES EN GÉNÉRAL.

Pages.

§ I. De l'influence des surfaces des corps de nature quelconque sur les effets électro-chimiques..... 1

§ II. De l'influence de l'oxidation et de diverses causes sur les effets chimiques..... 5

§ III. Propriété anomale du fer plongé dans l'acide nitrique..... 9

CHAPITRE II.

DE DIVERSES CAUSES POUVANT DÉPENDRE D'EFFETS ÉLECTRIQUES QUI EXERCENT UNE INFLUENCE SUR LES ACTIONS CHIMIQUES.

§ I. De l'influence que l'eau exerce sur un grand nombre de composés..... 14

§ II. Des changements chimiques produits dans les corps par le frottement, la porphyrisation et la désagrégation.. 16

CHAPITRE III.

DES DOUBLES DÉCOMPOSITIONS, OU DÉCOMPOSITIONS SUCCESSIVES.

§ I. De la formation des sous-sels..... 21

Pages.
§ II. De l'action des bi-carbonates alcalins sur les sous-sels. 23
§ III. De l'action de quelques solutions salines sur les sous-sels..... 27

CHAPITRE IV.

DES ACTIONS LENTES.

§ I. Considérations générales..... 30
§ II. De la cémentation en général..... 36
§ III. Des altérations du fer et de la fonte..... 41
§ IV. Altérations du cuivre..... 50
§ V. Des essais tentés pour préserver le doublage en cuivre des vaisseaux de l'action corrosive de l'eau de mer..... 55
§ VI. Résultats des expériences comparatives faites sur le doublage en cuivre et en bronze des vaisseaux..... 59
§ VII. Altérations du plomb..... 72
§ VIII. Altérations de l'argent, du zinc et de l'étain..... 76

CHAPITRE V.

DE LA FORMATION SPONTANÉE DE L'AMMONIAQUE ET DE QUELQUES AUTRES COMPOSÉS.

§ I. De la formation spontanée de l'ammoniaque..... 83
§ II. Considérations sur la formation du nitrate de potasse. 89
§ III. De la production du double phosphate d'ammoniaque et de magnésie dans les matières animales..... 92
§ IV. Des produits qui se forment journellement dans les tourbières..... 94
§ V. Exemples remarquables de décompositions produites par cémentation..... 106

CHAPITRE VI.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ A FORTE ET A FAIBLE TENSION SUR LES SUBSTANCES INSOLUBLES.

§ I. Effets produits par l'électricité à forte tension..... 111
§ II. De l'action des courants produits par de l'électricité à faible tension sur les substances insolubles..... 115

CHAPITRE VII.

CARBONATE DE CHAUX ET DES DOUBLES CARBONATES.

§ I. Procédé pour reconnaître si un calcaire a une texture rhomboïdale ou prismatique..... 123
§ II. Formation électro-chimique de l'arragonite..... 124
§ III. Des cristaux de chaux carbonatée spathique et d'arra-

Pages.
gonite de formation moderne..... 126
§ IV. De la formation de cristaux de carbonate de chaux dans la nature organique..... 131
Double carbonate de chaux et de magnésie ou dolomie.... 132
§ V. De la réaction du bi-carbonate de chaux sur le gypse. 133

CHAPITRE VIII.

ACTIONS CHIMIQUES DIVERSES QUI DOIVENT ÊTRE PRISES EN CONSIDÉRATION DANS LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

§ I. De l'action simultanée des matières sucrées et mucilagineuses sur les oxides métalliques par l'intermédiaire des alcalis et des terres..... 135
§ II. De la cristallisation de quelques oxides métalliques par l'intermédiaire du peroxide de potassium..... 140
§ III. De la dissolution du sulfate de baryte et du stéaschiste dans les eaux acidules carbonatées..... 143
§ IV. Actions lentes à l'aide desquelles on forme des silicates..... 144

LIVRE XII.

DE L'INFLUENCE DES EFFETS ÉLECTRIQUES SUR LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

§ I. Considérations générales..... 148
§ II. Effets généraux observés à la surface du globe..... 149
§ III. Des phénomènes volcaniques..... 151
§ IV. Hypothèses imaginées pour expliquer les phénomènes géologiques..... 155
§ V. Des effets électriques qui ont accompagné et accompagnent encore les phénomènes géologiques..... 162
§ VI. Des tentatives faites pour reconnaître les courants électriques existant dans les filons..... 165

CHAPITRE II.

DE LA DÉCOMPOSITION DES ROCHES.

§ I. Considérations générales..... 175
§ II. Des décompositions des granites..... 176
§ III. De l'altération des laves, et des produits qui s'y forment..... 181

CHAPITRE III.

Pages.

DES RÉACTIONS CHIMIQUES OBSERVÉES DANS LES FILONS.

§ I. Aperçu général des altérations..... 184
§ II. Du filon d'Huelgoat..... 187
§ III. Des amas de minerais et de cuivre de Chessy..... 194
§ IV. Des filons de Pontgibaud..... 196
§ V. De l'influence des forces électriques terrestres sur les phénomènes de décomposition et de recomposition des roches..... 201

CHAPITRE IV.

INDICATION D'UN PROCÉDÉ POUR ÉVALUER PAR APPROXIMATION L'ÉPOQUE D'UN DES GRANDS CATACLYSMES DU GLOBE..... 204

LIVRE SUPPLÉMENTAIRE.

DÉCOUVERTES RÉCENTES EN ÉLECTRICITÉ.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA MESURE DES COURANTS ÉLECTRIQUES.

§ I. Description de la balance électro-magnétique..... 209
§ II. De la pile à courant constant..... 215
§ III. Considérations sur les rapports qui lient les affinités aux forces électriques..... 223

CHAPITRE II.

DE L'INFLUENCE PAR INDUCTION D'UN COURANT ÉLECTRIQUE SUR LUI-MÊME, ET DE L'ACTION INDUCTIVE DES COURANTS EN GÉNÉRAL..... 231

CHAPITRE III.

EFFETS PHYSIOLOGIQUES PRODUITS PAR LES COURANTS INTERROMPUS..... 241

CHAPITRE IV.

PROCÉDÉ POUR RECONNAÎTRE S'IL Y A SOLUTION CHIMIQUE DANS LE CONTACT D'UN SEL ET DE L'EAU, ET DESCRIPTION DE L'HYGROMÈTRE THERMO-ÉLECTRIQUE..... 243

CHAPITRE V.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES COURANTS MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES. 250

CHAPITRE VI.

DU POUVOIR CONDUCTEUR DES CORPS POUR L'ÉLECTRICITÉ ET DE LA MESURE DE L'INTENSITÉ DES COURANTS..... 255

Pages.
§ I. Résultats d'une expérience..... 259
§ II. De l'intensité des courants électro-chimiques provenant d'un seul élément ou d'une pile à grande et petite tension..... 262
§ III. De la mesure relative des sources thermo-électriques et des sources hydro-électriques..... 271

CHAPITRE VII.

NOUVEAUX DÉVELOPPEMENTS RELATIFS A LA MANIÈRE D'ÉVALUER L'INTENSITÉ DES COURANTS ÉLECTRIQUES ET SUR LA QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ NÉCESSAIRE POUR DÉCOMPOSER UN GRAMME D'EAU..... 275

CHAPITRE VIII.

COMPARAISON DES INTENSITÉS ÉLECTRIQUES POUR PRODUIRE LES PLUS FAIBLES ET LES PLUS FORTES COMMOTIONS..... 282

CHAPITRE IX.

DESCRIPTION D'UN APPAREIL POUR MESURER LES EFFETS CALORIFIQUES PRODUITS PAR LE PASSAGE D'UN COURANT DE FAIBLE INTENSITÉ DANS UN CIRCUIT MÉTALLIQUE..... 286

CHAPITRE X.

NOUVELLES OBSERVATIONS SUR L'EMPLOI DE L'ÉLECTRICITÉ A FORTE TENSION POUR FORMER DES SUBSTANCES MINÉRALES ET AUTRES..... 289

CHAPITRE XI.

ACTION DES COURANTS ÉLECTRIQUES D'INTENSITÉ DIFFÉRENTE SUR L'ALBUMINE A L'ÉTAT LIBRE OU A L'ÉTAT DE COMBINAISON..... 293

CHAPITRE XII.

SUR LES RAPPORTS MAGNÉTIQUES GÉNÉRAUX DES MÉTAUX... 297

CHAPITRE XIII.

OBSERVATIONS DE M. FARADAY SUR LA MEILLEURE FORME A DONNER AUX APPAREILS VOLTAÏQUES..... 300

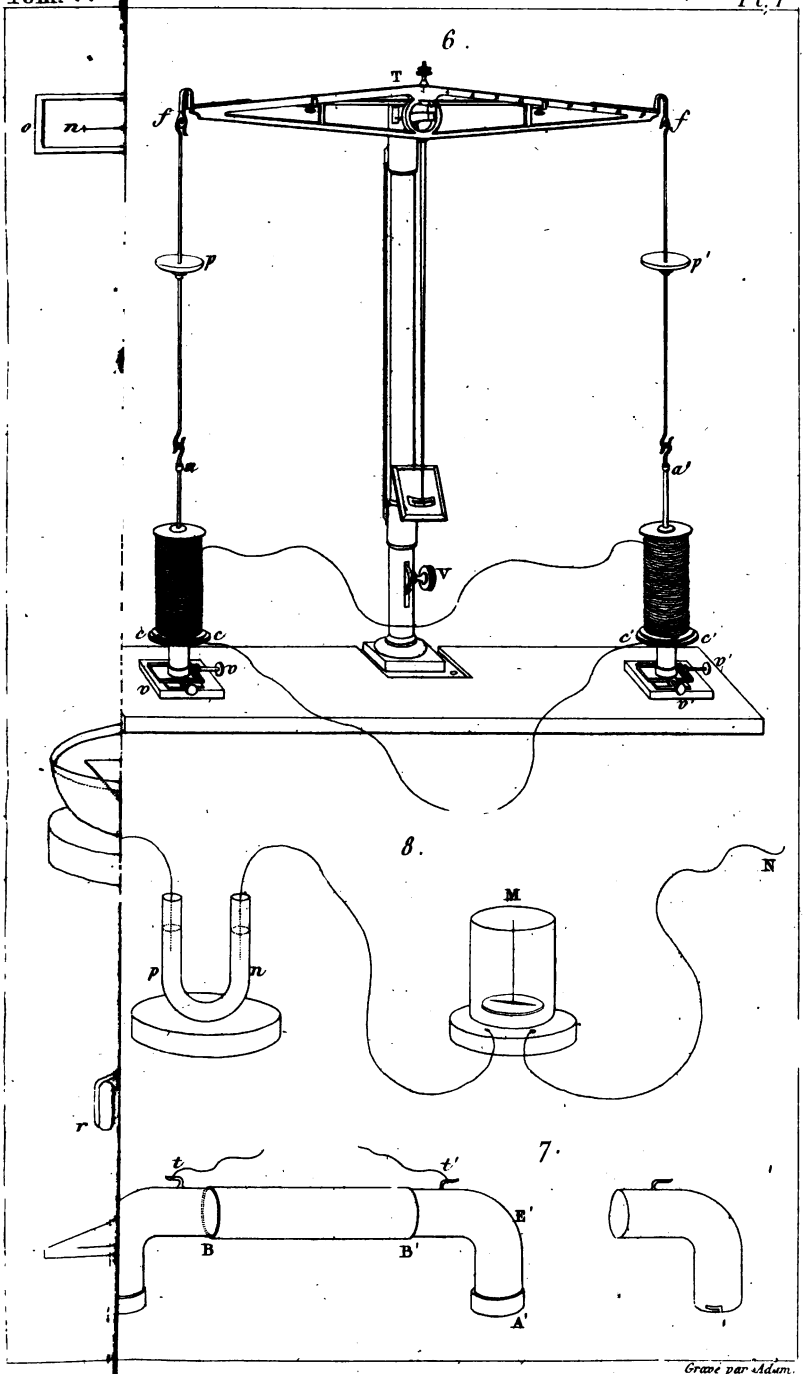
CHAPITRE XIV.

DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE PRODUITE DANS LA COMMOTION DE LA TORPILLE..... 302

CHAPITRE XV.

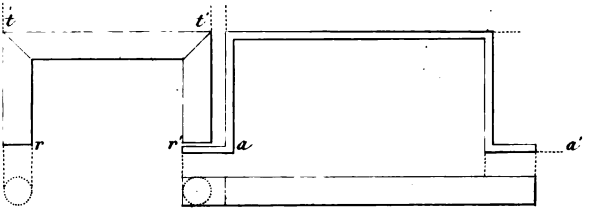
NOUVELLES OBSERVATIONS SUR LA PRODUCTION ET LA DESTRUCTION DE L'INACTIVITÉ DU FER PLONGÉ DANS L'ACIDE NITRIQUE 308

FIN DE LA TABLE.

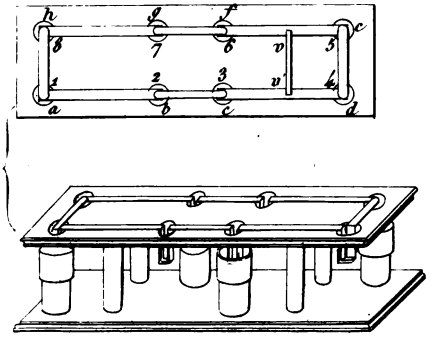


Gravé par Adam.

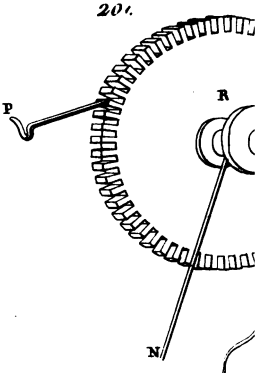
Fig. 13.



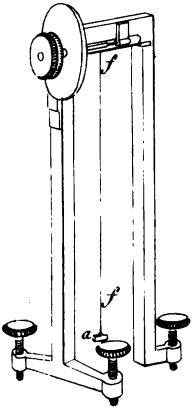
14.



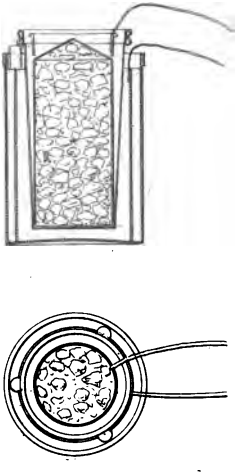
20.

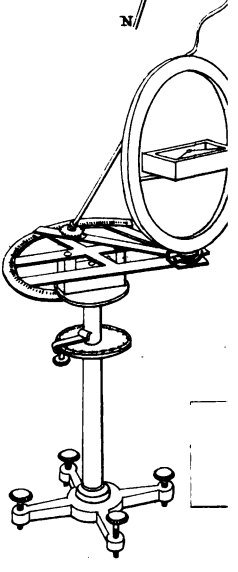


15.



16.





J. Pereira

TRAITÉ
DE L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

TOME V.

IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,
IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, N° 56.

TRAITÉ
EXPÉRIMENTAL
DE
L'ÉLECTRICITÉ
ET DU MAGNÉTISME,

ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES NATURELS ;

PAR M. BECQUEREL,
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT DE FRANCE, ETC.

.....Si quid novisti rectius istis,
Candidus imperti : si non, his utere mecum.

TOME CINQUIÈME.

DEUXIÈME PARTIE.

PARIS.
FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,
RUE JACOB, N° 56.

M DCCC XL.

AVANT-PROPOS.

Les recherches sur l'électricité et le magnétisme ont pris une telle extension, depuis la publication du Ier volume de cet ouvrage, que je me suis vu contraint de dépasser le cadre que j'avais d'abord arrêté. Voulant présenter au lecteur un tableau aussi complet que possible de la science jusqu'à ce jour, je me suis déterminé à réunir dans cette dernière publication (qui se compose de la 2e partie du Ve volume, d'un VIe, VIIe et dernier volume, avec un atlas) les travaux les plus importants, tant sur l'électricité que sur le magnétisme terrestre. Toujours fidèle au plan que j'ai adopté en commençant cet ouvrage, je me suis borné quelquefois à donner une simple analyse des travaux de chaque auteur, sans me livrer à une discussion quelconque; car le but que l'on doit se proposer, quand on publie le traité d'une science, est de faire connaître tous les éléments dont elle se compose, sans esprit de parti, et sans omettre, par conséquent, les faits qui contrarient des vues particulières. Ainsi, défenseur de la théorie électrochimique du contact, tout en reconnaissant qu'il y a quelque chose dans le contact qui influe sur les

phénomènes, je me suis bien gardé de ne rapporter que les faits qui sont favorables à mon opinion; historien fidèle, j'ai exposé aussi, sans prévention aucune, les opinions des défenseurs de la théorie de Volta. C'est dans cet esprit, je crois, qu'il faut rédiger un traité général.

Dans la 2e partie du Ve volume, on trouvera les recherches de M. Harris sur les lois fondamentales des actions électriques; recherches dont les résultats ne tendent rien moins qu'à faire perdre quelquefois aux lois de Coulomb, de leur généralité; mais, comme elles renferment des expériences nouvelles et intéressantes, j'ai dû les présenter avec quelques détails. « Au surplus, ai-je ajouté en par-« lant de ces lois, l'accord parfait qui existe entre « les résultats de l'expérience et les déductions de « l'analyse, est tel, qu'il est admis aujourd'hui par « tous les physiciens que l'on ne peut ajouter aux « grandes découvertes de Coulomb, touchant les « lois de l'action à distance, que des faits de détail « qui ne peuvent les infirmer en rien..... Quelque « prévenu que l'on soit contre un travail de cette « nature, comme il repose sur des expériences, et « par conséquent sur des faits, j'ai pensé qu'il était « de mon devoir de les exposer, afin que les physi-« ciens puissent les discuter, et voir jusqu'à quel « point les conséquences que l'on en tire sont fon-« dées. » Ces phrases sont l'expression de ma manière de voir.

Les travaux de M. Faraday, concernant l'induction d'un courant sur lui-même ou à distance, le pouvoir inducteur des di-électriques, qui n'ont pas reçu l'assentiment général, ont été exposés dans le même esprit.

Dans le VIe volume, je me suis attaché à réunir toutes les applications de l'électricité aux phénomènes naturels et aux arts, et qui ne se trouvent pas dans les volumes précédents. On y trouvera par-

ticulièrement une analyse de la notice de M. Arago sur le tonnerre, travail le plus complet qui ait jusqu'ici paru sur ce sujet; un exposé des aurores boréales, des trombes, etc. Je crois ne pas avoir fait d'omission importante.

Le VIIe volume, celui qui renferme le magnétisme terrestre, présentait plus de difficultés, en raison du grand nombre de travaux et de conséquences contradictoires obtenues par des hommes illustres. Je ne me suis point dissimulé les difficultés que je rencontrerais; aussi n'ai-je point eu la prétention de les surmonter toutes. Mais le titre que j'ai donné à cet ouvrage m'imposait l'obligation, comme, du reste, j'en avais pris l'engagement vis-à-vis du public, de le terminer en présentant un tableau aussi complet que possible de l'état actuel de nos connaissances sur le magnétisme terrestre; j'ai dû, par conséquent, présenter cette branche de la physique sans prévention contre telle ou telle méthode d'observation, contre telle ou telle vue théorique, en essayant de coordonner les faits de manière à mettre en évidence les rapports qui existent entre eux et les phénomènes électriques, objets de mes études favorites.

J'ai dû exposer avec de grands développements les travaux de M. Gauss, qui fixent dans ce moment l'attention de tous les physiciens. Sa théorie du magnétisme terrestre a été analysée, sous le rapport mathématique, par M. l'abbé Moignot, ayant de profondes connaissances dans toutes les sciences physiques, et possédant plusieurs langues.

N'ayant pas par devers moi tous les documents dont j'avais besoin, j'ai eu recours à l'obligeance de M. le capitaine Duperrey, qui a bien voulu, non-seulement mettre à ma disposition les tableaux *dressés par lui*, des déclinaisons de l'aiguille aimantée, pour différents lieux de la terre, depuis quarante ans, ainsi que d'autres tableaux d'observations ma-

gnétiques, mais encore les cartes, des lignes isodynamiques, celles des méridiens et des parallèles magnétiques. Je lui dois également des remercîments pour les conseils qu'il m'a donnés, et qui m'ont été très-précieux, ainsi que pour la rédaction des articles qui concernent ses travaux magnétiques exécutés pendant le voyage de *la Coquille*, et ceux dont il a depuis enrichi la science.

TRAITÉ EXPÉRIMENTAL
DE
L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

LIVRE XIII.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ DES ACTIONS ÉLECTRIQUES ET DES EFFETS DE L'INDUCTION.

CHAPITRE PREMIER.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LE CONTACT.

§ Ier. *Des effets électriques produits dans le contact des corps solides.*

1309. Les effets électriques de contact, quelle que soit leur cause productrice, ont aujourd'hui une telle importance, en raison de leurs rapports avec les affinités et les actions moléculaires en général, qu'on ne saurait les étudier avec trop de soin. Volta crut pouvoir les expliquer

tous au moyen d'une force électro-motrice qui constitue deux corps en contact dans deux états électriques différents. Fabroni leur attribua une origine chimique. Tour à tour ces deux opinions ont été alternativement combattues et défendues par Wollaston, Davy et autres physiciens; mais ce n'est réellement que lorsqu'on eut analysé les effets électriques qui ont lieu dans les actions chimiques, que l'on fut obligé d'admettre l'influence immédiate des réactions chimiques sur les phénomènes électriques de contact.

M. Delarive est un des physiciens qui ont le plus contribué à ébranler la théorie de Volta, en s'appuyant sur une foule d'expériences dont il a discuté les résultats avec la plus grande habileté. De mon côté, comme on l'a vu dans les cinq premiers volumes de cet ouvrage, j'ai fait un grand nombre d'expériences qui démontrent rigoureusement que l'action chimique dans le contact est une des causes les plus déterminantes du dégagement de l'électricité : méconnaître cette cause aujourd'hui, c'est nier l'évidence. La théorie du contact ayant été défendue, ces dernières années, par quelques physiciens, j'ai cru convenable de la soumettre à un nouvel examen, afin de m'assurer si les opinions que j'ai émises précédemment sur son insuffisance pour expliquer les phénomènes, ne devaient pas être modifiées en raison des découvertes dont la physique s'est enrichie depuis la publication des premiers volumes de mon ouvrage. Voici les observations que j'ai eu l'occasion de faire à cet égard :

1310. Pour me mettre, autant que possible, à l'abri des effets électro-chimiques, j'ai soumis à l'expérience, comme je l'avais fait auparavant, des substances qui, exposées depuis des siècles aux intempéries des saisons, n'avaient éprouvé aucune altération sensible, à en juger par l'état des surfaces. Je citerai particulièrement le platine, l'or, le peroxide de manganèse, le persulfure et le carbure de fer, etc. Toutes les précautions ont été prises pour que les surfaces de ces corps soient très-nettes et les doigts lavés avec de l'eau distillée. J'ai montré (80)

que le platine et l'or ne donnent lieu à aucun dégagement d'électricité par leur contact mutuel, à la manière de Volta; que ces deux métaux sont positifs par rapport au peroxide de manganèse et au carbure de fer, et ne donnent aucun effet avec le protoxide de cuivre, le persulfure de fer, le deutoxide de fer préparé avec l'eau, le fer oligiste, etc.; que le peroxide de manganèse et le carbure de fer sont au contraire électriques négativement dans leur contact avec ces substances, etc., etc.

1311. Tous ces effets sont-ils dus à la force électromotrice de Volta, ou bien à des réactions chimiques inaperçues jusqu'ici, et dont M. Delarive nous a donné un exemple dans le platine, qui paraît éprouver une légère altération à l'air? C'est ce que nous allons examiner; quant au peroxide de manganèse, nous admettons avec cet habile physicien, que son état électrique est dû à la perte qu'il fait de son oxigène en s'hydratant dans son contact avec le doigt mouillé. Pour bien poser l'état de la question, et montrer que je n'ai pas varié dans mes opinions sur la théorie du contact, comme quelques personnes l'ont avancé, je vais rappeler ce que j'ai dit à diverses reprises, au sujet de l'électricité de contact (1). « Nous devons conclure de tous les phénomènes électri-« ques qui ont été observés jusqu'ici dans le contact des « corps que, dans presque tous les cas, il y a eu action « chimique et que, dès lors, on est porté à croire que cette « dernière cause est celle qui exerce le plus d'influence « sur leur production. Néanmoins, dans l'état actuel de « la science, on ne doit pas encore abandonner la théorie « de Volta, attendu qu'il peut très-bien se faire qu'au « contact de deux corps il y ait un dégagement d'électri-« cité résultant d'un commencement de réaction chimique « entre ces corps.

Plus loin (2): « Nous pensons qu'il peut très-bien

(1) Traité de l'Électricité et du Magnétisme. T. II, p. 145.
(2) Tom. III, p. 418.

« se faire que lorsque deux corps sont en contact, les « affinités commencent à exercer leur action, avant qu'il « y ait combinaison et qu'il en résulte des effets électri- « ques par suite du trouble qui survient dans la position « d'équilibre des molécules. »

Plus loin encore (1) : « Quoique nous reconnaissions une « origine purement chimique à l'électricité voltaïque, et « que l'eau réagisse sur le peroxide de manganèse pour « le changer en hydrate. »

« On peut se demander quelle est la nature de l'ac- « tion chimique que l'eau distillée exerce sur la plomba- « gine, et surtout sur l'anthracite, dont la force de « cohésion est si considérable, que cette substance résiste « jusqu'à un certain point à l'action du feu. Dans l'im- « possibilité de répondre à cette question, nous émettons « de nouveau l'opinion qu'il peut très-bien se faire qu'il « y ait trouble dans l'état d'équilibre de l'électricité de « deux corps en contact, quand l'attraction de ces corps « est suffisante pour opérer cette perturbation, mais non « pour vaincre la force de cohésion qui s'oppose à leur « combinaison. »

On voit donc que je me suis borné à rapporter fidèlement les faits tels que je les ai observés, et à les expliquer sans chercher à les faire entrer de force dans l'une des deux théories qui ont divisé les physiciens; fidèle en cela au principe que j'ai adopté depuis longtemps, savoir, que la meilleure des théories est celle qui s'applique au plus grand nombre de faits.

Commençons l'examen des effets de contact dans les corps solides par ceux qui ont été annoncés par Davy : dans son Mémoire sur quelques effets de l'électricité chimique (2), il rapporte les faits suivants dont il tire des conséquences, pour la théorie électro-chimique, qui sont inadmissibles, comme je vais le prouver.

---

(1) Tom. v, p. 35.
(2) Annales de Chimie, T. LXIII, p. 230.

« Les substances alcalines et acides qui peuvent « exister sous la forme sèche et solide, donnent avec les « métaux des électricités très-sensibles qui n'exigent « que l'électro-mètre à feuilles d'or avec un petit disque « condensateur.

« Lorsqu'on touchait avec un plateau de cuivre isolé, « avec un manche de verre, l'acide oxalique, succinique, « benzoïque ou boracique parfaitement sec, soit en pou- « dre, soit en cristaux, sur une surface étendue, on « trouvait le cuivre dans l'état positif, l'acide dans l'état « négatif..... D'autres métaux, le zinc et « l'étain, par exemple, produisent le même effet..... « Quand on mit en contact des disques métalliques avec « la chaux sèche, la strontiane ou la magnésie, le métal « devint négatif..... Un morceau de chaux « sèche, faite avec la pierre calcaire secondaire com- « pacte et très-dure, et taillée de manière qu'elle présen- « tait une grande surface unie, devint électrique positi- « vement par des contacts réitérés avec des cristaux « d'acide oxalique. Des cristaux placés sur un électro- « mètre condensateur, et touchés à plusieurs reprises « par la chaux que l'on déchargeait après chaque con- « tact, rendirent les feuilles d'or négativement électriques. »

Plus loin Davy ajoute (page 228) : « Parmi les subs- « tances qui se combinent chimiquement, celles dont « l'énergie électrique est bien connue, présentent des « effets opposés. »

Les faits accusés par Davy sont exacts; mais les causes qui les ont produits, selon lui, ne le sont pas; car ils sont dus non au simple contact, mais bien au frottement les unes sur les autres de substances juxtaposées, telles que les acides végétaux et la chaux, lesquelles étant très-sèches ne sont pas conductrices de l'électricité, et ne peuvent par conséquent s'électriser par contact à la manière de Volta. En effet :

1312. 1re *Expérience.* — On adapte à un excellent électroscope, deux plateaux condensateurs entièrement en platine. On touche l'un des deux avec un morceau

de chaux bien sèche et l'autre avec le doigt; en séparant les plateaux, on trouve qu'il n'y a eu aucun effet électrique produit.

2e *Expérience.* On met sur une planche de bois bien sec, une couche de chaux calcinée et également sèche, puis on pose dessus avec précaution, sans exercer de frottement, un disque de cuivre fixé à un manche isolant; on le retire et on le met en contact avec l'un des plateaux du condensateur, en touchant l'autre avec le doigt. En répétant un certain nombre de fois de semblables contacts on n'obtient jamais de charge électrique; mais, si au lieu de poser avec précaution le disque de cuivre sur la chaux, on le pose avec frottement, on parvient à charger le condensateur après un petit nombre de contacts; la charge même est d'autant plus forte que le frottement a été plus marqué. La chaux prend l'électricité positive et le métal l'électricité négative.

1313. 3e *Expérience.* — En substituant à la chaux, un des acides ci-dessus mentionnés, bien sec, on obtient également par le frottement, et non par le simple contact, une charge d'électricité; dans ce cas, le métal prend l'électricité positive et l'acide l'électricité négative. Enfin, en soumettant à l'expérience des cristaux d'acide oxalique et de la chaux, l'un et l'autre bien secs, on obtient des effets analogues, mais seulement quand il y a eu frottement.

Il est donc bien démontré, par là, que les résultats obtenus par Davy sont dus à des effets électriques de frottement et non à l'action électro-motrice de Volta. Il ne pouvait en être autrement, puisque la chaux ainsi que les acides végétaux sont des corps mauvais conducteurs de l'électricité, quand ils sont bien secs; pour le prouver, il suffit de poser sur le plateau supérieur du condensateur l'un de ces corps, la chaux en poudre, par exemple, de manière à former une couche de quelques millimètres d'épaisseur, et de poser dessus un corps conducteur, auquel on communique une très-faible charge d'électricité; on voit alors que la chaux ne transmet pas

au plateau du condensateur cette faible charge. Il résulte évidemment de là que la loi donnée par Davy, pour établir les relations entre les affinités chimiques et les effets électriques de contact, n'est pas exacte. Je dis plus, cette loi n'a pas la généralité qu'il lui supposait: en effet, dans le contact suivi de frottement du cuivre avec la chaux, le cuivre prend l'électricité négative et la chaux l'électricité positive, comme Davy l'avait reconnu; mais avec d'autres bases, telles que l'alumine et la magnésie, les effets sont inverses. Après la calcination, le dégagement de l'électricité est bien marqué. L'oxide de zinc, très-sec, se comporte de même par rapport au cuivre. Ces exemples, qui seraient des anomalies dans la loi de Davy, suffisent pour infirmer cette loi. Davy, comme on le voit, a été induit en erreur sur la véritable cause du phénomène.

1314. Examinons maintenant le point principal de la discussion, les effets électriques produits quand deux corps conducteurs sont mis en contact, indépendamment de toute réaction chimique des deux corps l'un sur l'autre, ou de la part d'un agent extérieur sur l'un d'eux; mais, auparavant, je commencerai par rappeler les idées singulières et originales de M. Peltier, sur les effets électriques de contact, attendu qu'elles reposent sur des expériences assez importantes pour que j'en fasse mention ici. M. Peltier ayant pris pour plateaux condensateurs, un plateau d'or et un autre de platine, et les ayant fait communiquer ensemble au moyen d'un fil de platine, le premier s'empara d'un excès d'électricité positive, le second d'un excès d'électricité négative. Ce résultat, quoique en apparence favorable à la doctrine de Volta, peut être interprété d'une autre manière, comme on le verra ci-après. Le même physicien ayant préparé ensuite, avec soin, quatre plateaux de verre, en recouvrant le premier de feuilles de platine, le second de feuilles d'or, le troisième de feuilles d'argent, le quatrième de feuilles d'étain, comme je l'ai fait dans mes premières expériences sur le contact, ces plateaux furent successivement vissés à un excellent

électroscope à feuilles d'or, et les trois autres servirent alternativement de plateau supérieur ou de condensateur. Un appareil à source d'électricité constante ayant été préparé, chacun de ses pôles fut mis en communication avec l'un des plateaux, et chaque fois, l'ordre interverti; M. Peltier reconnut alors que tous les métaux ne possèdent pas, au même degré, la faculté de condenser chacune des deux électricités. Voici l'ordre des métaux pour la puissance de condenser l'électricité négative : platine, argent, or, étain. Ayant formé ensuite un couple avec deux plateaux, l'un de platine, l'autre d'or, ce plateau fut placé entre le collecteur en argent et le condensateur en étain, et l'on fit communiquer ensuite ensemble, d'une part, le collecteur et le condensateur au moyen d'un arc en platine isolé, de l'autre, le couple platine et or avec la terre, par l'intermédiaire d'un fil de platine. Les effets varièrent selon que l'un des deux métaux du couple interposé était placé en haut ou en bas. Quand le disque d'or était tourné du côté du collecteur, la charge négative était notable sur ce dernier; si le contraire avait lieu, il n'y avait aucun effet produit, ou bien un effet très-faible. D'autres couples interposés, communiquant également avec le globe, donnèrent lieu à des résultats analogues; de sorte qu'on a toujours obtenu une différence d'état dans les plateaux en contact, selon la nature du métal de la face du couple qui regardait chaque plateau.

1315. M. Peltier a cru devoir conclure de ces expériences et d'autres, que je ne rapporte pas ici, que les métaux, dans leur état d'équilibre naturel, possèdent des quantités différentes d'électricité, soit positive, soit négative, suivant leur nature, qu'aucun corps ne saurait leur enlever, lesquelles sont inhérentes à leur nature, et que c'est en vertu de cette électricité propre, que les deux plateaux du condensateur reçoivent des charges différentes, quand on les fait communiquer ensemble, après avoir interposé entre eux un couple de deux métaux, non isolé, suivant que l'un de ces deux métaux

est placé en haut ou en bas. C'est en s'appuyant également sur cette électricité inhérente aux particules des métaux, qu'il est bien difficile d'admettre, qu'il a voulu expliquer les effets électriques de contact dans lesquels on n'aperçoit aucune trace d'actions chimiques.

M. Delarive, qui a observé aussi quelques faits analogues, les a attribués, et je partage assez son opinion, soit à une action chimique de la part de l'air ou des agents extérieurs sur les corps, soit à des actions mécaniques, soit enfin à des causes inaperçues qui troublent l'état d'équilibre de leurs molécules. Pour remonter à la cause du phénomène, j'ai repris quelques-unes des expériences de M. Peltier, en les variant et en me servant d'un excellent électroscope, muni de deux plateaux condensateurs en platine.

Si l'on touche le plateau inférieur avec une lame d'or et le plateau supérieur avec un doigt humecté d'eau distillée et qu'on les sépare, on n'obtient jamais de charge électrique, comme je l'ai déjà dit, et cela quelle que soit la sensibilité de l'électroscope, pourvu qu'on évite les effets de frottement, qui sont des causes efficaces de dégagement d'électricité, comme on en a la preuve, en substituant aux électroscopes ordinaires des doubleurs qu'on a abandonnés en raison de cela depuis longtemps.

Mettons ce fait en regard de celui qui a été obtenu par M. Peltier.

En superposant l'un sur l'autre deux plateaux condensateurs, l'un de platine, l'autre d'or, et établissant la communication entre ces plateaux au moyen d'un arc de platine, tenu à la main par un manche isolant, le platine prend l'électricité négative, l'or l'électricité positive.

Les partisans de la doctrine du contact considèrent ce fait comme une preuve de l'existence de la force électro-motrice, attendu qu'il n'y a pas ici de contact du doigt mouillé avec un métal. M. Peltier soutient que l'état négatif du platine est inhérent à sa nature et que les effets observés sont dus à la différence des états

électriques propres des deux métaux, qui s'influencent réciproquement au contact.

Je ferai remarquer d'abord que, si l'action électromotrice était ici la cause du phénomène, ou bien si le platine était négatif par suite d'une oxidation produite par le contact du doigt mouillé, pourquoi n'ai-je obtenu aucun résultat en touchant l'un des plateaux de platine avec une lame d'or? Les effets auraient dû être les mêmes. La réponse me paraît difficile. Tout ce que l'on peut dire pour l'instant, c'est que le platine, quelle qu'en soit la cause, est dans un état négatif permanent, qui ne peut être détruit que dans les cas que je vais indiquer.

1316. Opérons toujours avec les deux plateaux condensateurs, l'un d'or et l'autre de platine, placés l'un sur l'autre; si l'on touche le premier, quelle que soit sa position par rapport à l'autre, avec un doigt humecté d'eau, et le second avec un doigt humecté d'une solution étendue d'eau régale, l'appareil ne se charge pas. Le contact avec le platine du doigt humecté d'eau acidulée a donc suffi pour détruire l'état négatif de ce dernier. En opérant avec une solution plus concentrée, les effets sont encore nuls, bien qu'il se produise une réaction chimique, qui rend le platine négatif; mais il n'en est plus de même si l'on substitue à la solution d'eau régale une solution alcaline; dans ce cas on a des effets électriques très-marqués. En expérimentant avec les deux plateaux condensateurs en platine, ou les deux plateaux d'or, on a des effets analogues et dépendants de la cause que je vais signaler; je ferai d'abord remarquer qu'il faut tenir compte des effets électro-chimiques produits dans le contact des solutions acides ou alcalines avec les liquides qui humectent les doigts; dans ces diverses réactions, les acides prennent l'électricité positive, qui est transmise au plateau, et les liquides humectants, ou les doigts, l'électricité négative. Avec les alcalis, les effets sont inverses. Ces résultats ne peuvent être l'objet d'aucun doute.

1317. Je reprends le cas où le plateau de platine est

en présence du plateau d'or; quand on touche le premier avec un acide, il n'y a aucun effet produit, parce que l'électricité positive qu'a prise l'acide dans sa réaction sur l'eau du doigt, neutralise l'électricité contraire que possède le platine. Avec la potasse, les effets doivent être exaltés, attendu que la potasse communique de l'électricité négative au platine, laquelle s'ajoute à celle qui lui est propre. Ces expériences tendent donc à prouver que réellement le platine a une électricité propre, indépendamment de tout contact avec un corps humide; il est difficile cependant d'admettre encore une électricité inhérente aux corps, indépendamment de toute action physique, chimique ou calorifique. Je m'en tiens au fait, sans me prononcer sur la cause. Avec l'or on ne trouve pas les mêmes effets qu'avec le platine, du moins à un degré aussi marqué.

Si le platine possède réellement un état négatif qui lui est propre, quelle qu'en soit la cause, les autres métaux devraient avoir également un état électrique dépendant de leur nature, lequel compliquerait les effets électriques produits, quand ils sont attaqués par des agents chimiques.

Si cet état électrique existait, il devrait prédisposer plus ou moins les molécules de chaque métal à se combiner avec un acide ou avec un alcali, selon cet état. Ainsi le platine, qui est négatif relativement aux autres métaux, doit repoussser les acides avec lesquels il tend à se combiner, et attirer au contraire les alcalis; ce serait en partie à cette cause qu'il faudrait attribuer le peu d'affinité de ce métal pour les acides, tandis qu'il en a une assez marquée pour les alcalis, ainsi que l'action qu'exerce le platine en éponge sur l'hydrogène, qui, étant condensé et se trouvant dans un état électrique convenable, se combine aisément avec l'oxigène.

1318. En partant de la supposition de M. Peltier, voici comment on peut se rendre compte des effets précédents, en ne s'attachant seulement qu'à l'état constamment négatif du platine.

Soient A B (fig. 1) le plateau condensateur en platine, et CD le plateau en or, séparé du premier par la couche isolante J. Admettons, ce qui est confirmé au reste par l'expérience, que le platine soit constamment négatif; quand on lui enlèvera son excès d'électricité négative, il devra le prendre aussitôt aux dépens de son électricité naturelle; dès lors celle-ci étant décomposée, son électricité positive devra être chassée dans les corps environnants, tandis que la négative se portera sur la surface du platine. Cela posé, en établissant la communication métallique entre A B et C D, l'électricité positive qui est chassée de A B se portera sur C D, et viendra se condenser dans les parties contiguës à la couche isolante, en vertu de l'action exercée par l'électricité négative de A B; la quantité qui s'en condensera dépendra de l'excès d'électricité libre que possède ordinairement le platine, et de l'épaisseur de la couche isolante.

En partant toujours des mêmes principes, il est facile de montrer pourquoi on n'obtient aucun effet avec deux plateaux condensateurs en platine, quand on touche l'un d'eux avec une lame d'or, et l'autre avec un doigt mouillé. Soient P et P′ les deux plateaux de platine, et O la lame d'or; P et P′ sont toujours négatifs au même degré de tension; ainsi en touchant l'un d'eux avec une lame d'or et l'autre avec le doigt, on ne change rien à cet état, puisque si on enlève de part et d'autre la même quantité d'électricité négative, il s'opérera aussi de chaque côté la même décomposition, de sorte que l'équibre ne saurait être troublé; dès lors il ne peut y avoir d'électricité condensée sur aucun des deux plateaux qui ne possèdent que la quantité d'électricité qui leur est propre.

§ II. *Des effets électriques produits dans le contact des gaz et des métaux non oxidables.*

1319. Lorsque deux lames de platine, en communication chacune avec l'un des pôles d'une pile voltaïque,

plongent dans de l'eau, qui est décomposée par l'action du courant, si l'on interrompt, au bout de quelques instants, la communication, et qu'ayant détaché les lames des extrémités de la pile, on mette les deux bouts libres en relation avec un multiplicateur, tandis que les deux autres restent plongés dans l'eau, on a un courant dirigé en sens inverse du premier. Avec un multiplicateur très-sensible, on obtient les mêmes effets, même lorsque les deux lames de platine ont servi à transmettre dans un liquide un courant électrique provenant de l'action d'un seul couple. La faculté qu'acquièrent les lames dans ce cas, n'appartient seulement qu'aux parties qui ont été immergées dans l'eau, pendant que la pile fonctionnait; car si l'on enlève ces parties, et qu'on plonge dans l'eau celles qui étaient au-dessus, on n'observe aucun effet. L'explication que j'ai donnée, il y a longtemps, de ce phénomène vient d'être sanctionnée en quelque sorte par les expériences de M. Matteucci. Voici cette explication : « Quand deux lames de « platine, plongeant dans une solution saline, font par- « tie d'un circuit voltaïque, la surface de la lame positive « se recouvre d'éléments acides et d'oxigène, et la sur- « face de la lame négative d'éléments alcalins et d'hydro- « gène; ces deux lames se trouvent donc dans le même « état que si la première avait été mise en contact avec « une solution acide et l'autre avec une solution alca- « line; dans les deux cas, les effets sont les mêmes. »

Quoique l'expérience n'eût pas été faite alors avec l'oxigène et l'hydrogène, on pouvait supposer que ces deux gaz, en réagissant l'un sur l'autre par l'intermédiaire du liquide, devaient se comporter comme l'acide à l'égard de l'alcali.

1320. M. Matteucci ayant rempli deux petites cloches de verre, portant des divisions donnant des dixièmes de centimètre cube, de gaz oxigène et de gaz hydrogène purs, il introduisit dans la cloche d'hydrogène des lames de platine qui avaient servi de pôle positif, et sur lesquelles il y avait eu par conséquent un dégagement

d'oxigène; des lames négatives furent déposées dans les cloches d'oxigène. Le volume du gaz, examiné vingt minutes après l'introduction des lames, avait sensiblement diminué. En renversant l'expérience, c'est-à-dire, en introduisant les lames positives dans le gaz oxigène et les négatives dans l'hydrogène, il obtint au contraire des augmentations de volume correspondant, en général, aux diminutions qui avaient eu lieu dans l'autre cas. Ces expériences montrent que des couches d'hydrogène et d'oxigène se forment sur les lames décomposantes et y persistent. Pour mettre ce fait hors de doute M. Matteucci a placé des lames de platine dans l'hydrogène et d'autres lames dans l'oxigène; il les retira après un certain temps, les mit en relation avec un multiplicateur et les plongea dans de l'eau distillée. Les déviations de l'aiguille aimantée furent considérables; la direction du courant fut la même que si les lames avaient servi à décomposer l'eau. Il résulte de là que ces lames, dans l'un et l'autre cas, avaient acquis la même propriété.

Il faut un temps très-long pour faire disparaître cette propriété : une exposition à l'air, de cinq ou six heures, ne suffit pas; il est nécessaire d'employer la chaleur rouge.

Les lames de platine et d'or sont les plus propres à cette formation. Les courants sont encore les mêmes en employant une lame qui n'a pas été mise en contact avec l'un des gaz, et une autre qui a été plongée pendant quelque temps dans l'un d'eux; on voit donc que l'hydrogène et l'oxigène, séparés par la pile, en se déposant en couches sur les lames décomposantes, sont la cause de la faculté qu'acquièrent alors les lames de produire un courant secondaire.

1321. M. Peltier a reconnu, de son côté, que sous l'influence d'un courant électrique une colonne d'eau se charge d'électricité positive du côté du pôle positif, et d'électricité négative de l'autre côté, et que ces deux états électriques diminuent jusqu'au milieu qui est à l'état neu-

tre. Les deux électrodes étant détachés de la pile et réunis au moyen d'un fil de métal, on obtient un courant en sens inverse du premier. Le courant secondaire augmente d'autant plus qu'on éloigne les lames immergées et qu'on les rapproche des points où se trouvaient les électrodes.

En faisant passer un courant de gaz hydrogène à travers de l'eau, puis mettant cette eau en contact avec de l'eau ordinaire, on a obtenu un courant semblable à celui qu'on avait eu dans le premier cas; l'eau hydrogénée jouait le rôle d'alcali. Ce courant secondaire n'est que le produit d'une action chimique.

L'expérience de M. Matteucci, relative à la polarisation des lames de platine, est donc le complément de celle que j'ai rapportée dans le *Traité de l'Électricité et du Magnétisme* (1). Mais l'effet produit est-il dû au simple contact de l'oxigène et de l'hydrogène avec le platine, ou bien à la réaction de ces deux gaz l'un sur l'autre, par l'intermédiaire de l'eau? C'est ce que nous aurons l'occasion plus loin d'examiner.

1322. On doit rapporter à la même cause les effets que l'on observe quand des lames de platine, qui ont séjourné plus ou moins de temps dans l'air, sont mises en contact avec de l'eau distillée.

Lorsque l'on plonge dans une solution de nitrate de potasse une lame de platine et une lame d'or en communication avec les deux extrémités du fil d'un multiplicateur, on a une décharge instantanée, c'est-à-dire, qu'après un certain nombre d'oscillations l'aiguille revient à zéro. Il est bien entendu que toutes les précautions doivent être prises pour que les lames de platine soient très-propres. Si l'on interrompt pendant quelques instants la communication et qu'on la rétablisse de nouveau, on a une nouvelle décharge; cet effet, qui est analogue à ceux que j'ai décrits précédemment, peut se reproduire

(1) Tom. III, p. 109.

pendant plusieurs jours. Cela posé, si, après avoir lavé avec de l'eau distillée, à plusieurs reprises, deux lames de platine et les avoir fait rougir, on les plonge dans de l'eau distillée, on obtient en général un courant dû à diverses causes; ce courant cesse plus ou moins promptement. Quand les effets électriques ont cessé, si l'on interrompt le circuit, en enlevant une des chevilles du multiplicateur, et que l'on rétablisse immédiatement la communication, il n'y a aucun effet électrique produit; mais si l'on retire de l'eau une des lames, que nous appellerons A, et qu'on la replonge quelques instants après, il se manifeste un courant qui annonce que cette lame a pris au liquide l'électricité négative. En la laissant plongée longtemps dans l'eau, la retirant et la replongeant de nouveau quelques secondes après, on n'obtient qu'un faible courant; mais si on la laisse longtemps dehors, afin que l'eau adhérente à la surface s'évapore entièrement, on obtient, en replongeant la lame dans la solution, un courant dirigé dans le même sens que le précédent, mais beaucoup plus intense. Les effets étant très-variables, il est inutile de donner ici les déviations obtenues.

En insufflant de l'air sur la lame, pour évaporer plus promptement le liquide, on obtient les mêmes effets. Dans le cas précédent, comme dans celui-ci, l'eau en s'évaporant permet à l'air d'adhérer en plus grande quantité sur la lame, d'où résulte un courant quand on replonge celle-ci dans l'eau, par suite de la réaction de l'oxigène sur le platine ou sur l'eau.

1323. L'expérience suivante montre bien que c'est à la réaction de l'oxigène qu'est due l'augmentation dans l'intensité du courant. Si l'on fait rougir fortement une des lames de platine, afin de volatiliser l'eau adhérente à sa surface, en évitant le contact immédiat de la flamme et la plongeant dans l'eau après le refroidissement complet, l'aiguille est lancée à 90°. Reprenons actuellement l'expérience de M. Matteucci dans laquelle le courant est également instantané. Soient deux tubes fermés par

un bout et dans chacun desquels on place une lame de platine, fixée à un fil de même métal, l'un des tubes est rempli de gaz oxigène, l'autre de gaz hydrogène; ces deux tubes plongent dans de l'eau distillée.

Au bout de quelques heures, on fait sortir une partie du gaz de chaque tube, afin de faire rentrer assez d'eau pour que les lames de platine soient immergées; puis on met les deux bouts libres des fils en communication avec les deux extrémités du fil du multiplicateur; on a alors un courant instantané, qui n'est qu'une décharge électrique. Pour la reproduire, il faut que le circuit soit interrompu pendant quelque temps. Supposons, un instant, que le courant primitif polarise les lames de manière à produire un courant dirigé en sens inverse, qui détruise l'effet du premier, et que ce soit là la cause du phénomène; dans ce cas la lame qui était en contact avec l'oxigène se couvrira d'hydrogène, de sorte que la surface sera en contact avec ces deux gaz, dans les conditions voulues pour se combiner, puisqu'ils ont perdu leur état élastique; mais comme cette combinaison ne s'opère pas quand le circuit est fermé, il faut admettre que la décharge instantanée est produite par une accumulation d'électricité et sur la lame et dans le liquide, quelle que soit la cause du dégagement de l'électricité.

1324. Jusqu'ici il n'a été question que des effets électriques résultant du contact de l'hydrogène, de l'oxigène, et de l'air avec le platine. Nous allons voir actuellement ce qui arrive quand on substitue à l'oxigène, l'azote. Deux tubes, remplis d'azote, ont été préparés de la manière indiquée précédemment, ainsi que deux tubes remplis d'hydrogène et deux autres remplis d'oxigène; dans chaque tube était également placée une lame de platine; toutes les lames étaient égales, afin que les effets fussent comparables. Prenons d'abord un tube rempli d'azote et un tube rempli d'hydrogène. En établissant la communication avec les deux bouts du fil du multiplicateur, on a eu un courant dont la direction, dans les premières heures, n'était pas constante, à cause des substances

étrangères qui adhéraient aux surfaces métalliques; mais vingt-quatre heures après, la direction devint constante; l'azote s'est comporté comme l'oxigène, dans l'expérience précédente, c'est-à-dire qu'il a pris au liquide l'électricité positive. En comparant maintenant l'azote et l'oxigène, on trouve que l'oxigène communique au platine, avec lequel il est en contact, l'électricité positive.

L'hydrogène et l'azote se comportent comme l'hydrogène et l'oxigène; de sorte que l'azote est électro-positif par rapport à l'hydrogène, et électro-négatif par rapport à l'oxigène.

Il est donc bien prouvé maintenant que lorsque deux lames de platine sont recouvertes de différents gaz, on obtient un courant dès l'instant où l'on plonge dans l'eau ces lames communiquant entre elles au moyen d'un fil de métal.

Nous sommes portés à croire que cet effet est dû à la réaction lente des deux gaz l'un sur l'autre, par l'intermédiaire de l'eau, réaction dont l'intensité est augmentée par l'action chimique du courant qui doit se manifester quand le circuit est fermé.

1325. L'expérience suivante, due à M. Grove, vient à l'appui de cette opinion: on prend deux tubes de verre fermés par une de leurs extrémités; après avoir fait passer dans l'un une lame de platine et de l'hydrogène en quantité suffisante pour occuper la moitié de la capacité, et dans l'autre une lame de même métal et de l'oxigène en même quantité, on plonge les deux tubes dans de l'eau légèrement acidulée, et l'on fait communiquer la lame en contact avec l'oxigène, avec le zinc d'un couple voltaïque, et la lame en contact avec l'hydrogène, avec le cuivre du même couple. Au moyen de cette disposition, la première est négative et la seconde positive. Les choses étant ainsi disposées, on ne tarde pas à voir l'eau s'élever rapidement dans les deux tubes, deux fois plus dans celui où se trouve l'hydrogène que dans l'autre. Il y a donc eu, sous l'influence des lames de platine, décomposition et formation d'eau, deux actions qui sont

ici dépendantes l'une de l'autre. On voit par là que la tendance du platine à déterminer la combinaison du gaz qui se trouve dans les deux tubes, est de beaucoup augmentée lorsque l'état électrique de chaque lame est modifié par le passage du courant provenant du couple voltaïque, lequel est dirigé dans un sens différent de celui qui résulte de la combinaison lente des deux gaz primitivement employés. Cette différence dans l'intensité du courant suffit pour décomposer l'eau et produire les effets indiqués.

Dans l'expérience précédemment citée (1324), on n'a point un couple voltaïque pour augmenter l'intensité du courant, mais bien un courant résultant de la réaction des deux gaz sur l'eau, laquelle, quoique très-faible, doit tendre à produire des effets semblables.

1326. Les phénomènes relatifs à la polarisation des conducteurs, qui ont servi d'électrodes, ont une telle importance que je ne dois omettre aucun des faits qui ont été observés pour les étudier. Voici le résultat des dernières recherches qui ont été faites à ce sujet par M. Schœnbein.

Un fil de platine, polarisé soit positivement, soit négativement, c'est-à-dire, qui a servi d'électrode négatif ou positif, perd son état électrique particulier, quand on élève sa température jusqu'au rouge.

Un fil de platine, polarisé positivement, c'est-à-dire, dont la surface est recouverte d'hydrogène, perd son pouvoir lorsqu'il est plongé seulement, pendant un instant, dans une atmosphère de chlore. Le fait s'explique de lui-même.

Un fil de platine, polarisé positivement, perd son état électrique lorsqu'il est plongé pendant quelques secondes dans de l'oxigène. Réciproquement, un fil polarisé négativement perd de sa faculté quand il est plongé dans l'hydrogène.

Un fil de platine, polarisé d'une manière quelconque, n'éprouve aucune influence de la part du gaz acide carbonique.

Le platine, l'or et l'argent exposés pendant quelques instants dans une atmosphère de chlore, se comportent comme un fil polarisé négativement, c'est-à-dire, comme s'ils étaient recouverts d'oxigène.

L'acide sulfurique, très-étendu d'eau et dans lequel on a dégagé de l'hydrogène, est positif à l'égard du même liquide, qui ne renferme pas d'hydrogène, quand les deux liquides sont séparés par une membrane et sont mis en relation avec le multiplicateur au moyen de fils de platine. Si l'on emploie au lieu de platine des fils d'or ou d'argent, on n'obtient aucun courant.

En se servant des mêmes liquides, mais dont l'un contient un peu d'oxigène et l'autre n'en renferme pas, on n'obtient aucun courant, soit qu'on se serve de fils de platine d'or ou d'argent pour fermer le circuit.

Une solution d'hydrogène perd sa faculté d'exciter un courant lorsqu'elle est mêlée avec une certaine quantité de chlore.

Enfin l'acide chlorhydrique, polarisé positivement, perd sa polarité lorsqu'il est mêlé avec une certaine quantité de chlore, et le même acide, polarisé négativement, perd son état particulier lorsqu'il est traité avec une quantité suffisante d'hydrogène.

M. Schœnbein admet, comme nous, que les courants secondaires, produits par les fils et les fluides polarisés, sont dus à une action chimique ordinaire, c'est-à-dire, à la combinaison de l'oxigène avec l'hydrogène, ou à celle du chlore avec l'hydrogène.

§ III. *De l'oxidation du platine.*

1327. On a vu précédemment (1317, 1318) que le platine se trouvait constamment dans un état négatif, qui ne pouvait être détruit que dans les cas indiqués, et dont la cause paraissait inconnue, mais cependant qu'il y avait quelque probabilité pour croire que cet état était dû à une réaction chimique lente. C'est ce motif qui

m'engage à exposer ici les recherches de M. Delarive sur l'oxidation du platine dans des circonstances où on ne l'a pas encore observée.

M. Delarive a observé que des fils de platine, lavés avec le plus grand soin, soit dans la potasse, soit dans les acides, se recouvre en peu d'instants d'une poudre noire, quand, après les avoir plongés dans une solution acide très-pure, on s'en sert pour transmettre dans cette solution une succession rapide de courants instantanés, dirigés alternativement en sens contraires. La poudre noire est du platine parfaitement métallique, dans un grand état de division; l'oxidation et la réduction qui succèdent avec une grande rapidité sur la surface des fils par l'effet des couches d'oxigène et d'hydrogène qui les recouvrent alternativement, finissent par désagréger les particules métalliques.

On a fait passer le courant d'une pile de dix ou douze couples, faiblement chargée, dans de l'eau distilée, légèrement acidulée, au moyen de deux surfaces de platine d'une étendue très-différente : l'une avait un millimètre d'épaisseur et deux à trois millimètres de longueur; l'autre formait un long fil ou bien était un morceau de platine spongieux. Les surfaces étaient très-nettes, et tout était disposé pour recueillir les gaz dégagés. La grande surface fut mise d'abord en relation avec le pôle négatif, et la petite avec l'autre pôle. On eut alors deux fois autant d'hydrogène que d'oxigène. On changea les pôles, et on trouva qu'il manquait deux à quatre centimètres cubes d'oxigène pour que son volume fût exactement la moitié de celui de l'hydrogène. Si on rétablissait les choses dans l'état où elles étaient dans la première expérience, on ne retrouvait plus la quantité d'hydrogène qui avait été dégagée. Il en était de même si, après avoir lavé et décapé la grande lame, on la laissait sécher dans l'air avant de la plonger dans la solution qui devait être décomposée Ces faits nous montrent que la grande lame se recouvrait d'une légère couche d'oxide, et que l'hydrogène avait été employé à dé-

soxider le platine. Aussi ce gaz ne se dégageait-t-il que quelques instants après.

M. Delarive ayant décomposé de l'eau légèrement acidulée dans l'intérieur d'un eudiomètre au moyen des deux mêmes surfaces, la plus petite communiquant avec le pôle positif, il fit détoner le mélange gazeux. Il obtint un excès d'hydrogène, preuve qu'une portion de l'oxigène avait servi à l'oxidation. Les pôles de la pile ayant été changés, tout en conservant l'hydrogène, il fit détoner le produit gazeux, et le résidu disparut presque entièrement : ce qui confirme l'explication précédente.

1328. Ces faits et d'autres du même genre, ont porté M. Delarive à admettre que le platine, et probablement les autres métaux de la même classe, ne doivent plus être rangés dans la classe des métaux non oxidables. Mais ce qui établit entre ces métaux et les autres, c'est-à-dire, les métaux oxidables, une grande différence, c'est que les premiers ne se recouvrent dans les mêmes circonstances où les autres s'oxident complétement, que d'une couche d'oxide très-superficielle, sans qu'il y ait pénétration ou cémentation, probablement à cause de leur grande densité; mais si l'oxidation et la réduction ont lieu alternativement, très-fréquemment sur la même surface, celle-ci finit par se désagréger. Cette désagrégation peut avoir plusieurs degrés, suivant l'intensité de la force agissante. C'est ce motif pour lequel les fils de platine qui ont servi pendant longtemps à décomposer l'eau par l'action des courants, et dont chacun a servi alternativement de pôle positif et de pôle négatif, présentent une apparence rugueuse par suite des parties enlevées par les oxidations et réductions successives.

On voit par là avec quelle facilité le platine s'oxide sous l'action d'un courant électrique; mais comme il suffit d'une oxidation excessivement faible, qui échappe souvent aux investigations des chimistes, pour produire des effets électriques appréciables à nos appareils, il peut donc se faire que dans nombre de cas le platine

doive son état électrique à une oxidation non encore appréciée.

M. Delarive fait observer, à cet égard, que dans des expériences où l'on s'occupe de recherches relatives au développement de l'électricité, soit sous la forme de courant, soit à l'état de tension, en employant du platine, il faut tenir compte, dans les effets observés, de la faculté que possède le platine de pouvoir s'oxider et se désoxider facilement. Je partage entièrement son opinion sur ce point, et je crois que l'on s'est un peu trop hâté d'annoncer les résultats que l'on avait obtenus, comme des arguments irréfragables en faveur de la théorie du contact.

1329. Je saisis cette circonstance pour rectifier l'opinion que plusieurs personnes se sont faite de la théorie chimique de l'électricité voltaïque telle que l'a conçue M. Delarive. On lui a attribué cette opinion, que tout développement est dû à une action chimique : mais telle n'a jamais été sa pensée. Il a constamment soutenu que le contact de deux substances hétérogènes n'est pas par lui-même une source d'électricité, quoiqu'il puisse être souvent une condition indispensable pour que l'électricité dégagée par d'autres causes puisse devenir sensible. Quant à ses causes, il admet toutes celles que j'ai déjà fait connaître, c'est-à-dire, la chaleur, la pression, le frottement, l'action chimique, etc.

Cette manière de voir est partagée par toutes les personnes qui ont fait une étude suivie des phénomènes relatifs au dégagement de l'électricité.

§ IV. *Observations relatives à une nouvelle théorie du contact.*

1330. Je ne crois pas trop m'avancer en déclarant que quiconque veut défendre la théorie du contact de Volta, ou en imaginer une autre, sans avoir étudié préalablement les phénomènes électro-chimiques, dont on a fait un examen approfondi depuis vingt ans, est dans une fausse

route et ne peut que se tromper dans ses investigations. Je ne prétends nullement dire qu'il n'y ait pas dans le contact des corps une action qui modifie les effets électriques produits dans les réactions chimiques, mais je pense que cette action n'est pas la cause immédiate des effets observés, et qu'il faut la chercher dans les circonstances qui peuvent troubler l'état d'équilibre des molécules des corps.

M. C. J. B. Karsten nous offre une preuve de ce que je viens d'avancer; dans une lettre adressée à M. de Humboldt (Berlin, 1836) (1), il expose ses vues sur l'électricité de contact. Les conséquences auxquelles il est conduit, ne tendent rien moins qu'à ébranler les théories proposées jusqu'ici pour expliquer les effets de contact.

Ce savant distingué, sans s'occuper des diverses causes qui président au dégagement de l'électricité et que l'on doit mettre en première ligne dans une question de cette nature, commence par poser en principe que le dégagement de l'électricité est un simple effet de contact.

Les métaux qu'il a soumis à l'expérience sont le platine, l'argent, le cuivre et le zinc, en fils enroulés en hélice à l'une de leurs extrémités, et plongeant successivement dans des dissolutions acides, alcalines ou salines, capables de conduire l'électricité. Les effets produits ont été observés avec un électroscope à feuilles d'or, muni de deux plateaux condensateurs, formés avec deux des quatre métaux employés.

Ce mode d'expérimentation introduit dans les résultats des causes d'erreurs qui ne permettent pas d'en tirer des conséquences exactes; car il est parfaitement démontré aujourd'hui que l'on ne peut compter sur les effets du condensateur qu'autant que *les deux plateaux* sont en platine, en or, ou en verre doré. Si ces plateaux sont en zinc, en cuivre ou en argent, le contact du doigt mouillé, avec l'un d'eux, ou la réaction de l'air hu-

(1) Biblib. univ. de Genève, Tom. v, p. 161.

mide, suffit pour faire naître des effets électriques qui compliquent les effets que l'on a en vue, au point de masquer la véritable cause de leur production. Dès lors il faut renoncer, avec ce mode d'expérimentation, à obtenir des résultats exacts, dont on puisse tirer des conséquences en faveur de telle ou telle théorie.

Quoi qu'il en soit, passons outre. Voici les principales expériences sur lesquelles M. Karsten fonde sa théorie :

1331. 1re *Expérience*. Un fil de zinc, plongeant par l'un de ses bouts dans un liquide conducteur, manifeste à l'autre bout libre, sur un condensateur de même nature, l'électricité négative. Des plateaux en cuivre ou en argent ne changent rien aux résultats. Un fil de cuivre substitué au fil de zinc, communiquant avec un plateau en cuivre ou en argent, donne également, quoiqu'avec moins de certitude, de l'élétricité négative. Avec un plateau en zinc le résultat reste incertain; des fils de platine ou d'argent ne donnent aucun effet.

Ces effets, qui sont connus depuis longtemps, peuvent être expliqués au moyen de l'électricité dégagée dans la réaction du liquide sur le métal, sans avoir recours aux effets de contact. Dans cette réaction le liquide prend l'électricité positive, le métal l'électricité négative. L'intensité de l'électricité dégagée dépend de diverses causes qui font varier les effets, entre autres de l'énergie de l'action chimique, de l'action du liquide sur les corps étrangers qui adhèrent aux surfaces, d'une décapation plus ou moins prompte, etc.

2e *Expérience*. En plongeant un fil de zinc, soudé à un fil de cuivre, dans le liquide, de manière à laisser libre la soudure et le second métal, le cuivre transmet à un plateau en cuivre ou en argent l'électricité négative. Avec un plateau en zinc l'effet est presque nul. Quand le cuivre est immergé, le plateau en zinc, en contact avec le zinc, accuse encore de l'électricité négative, mais avec une tension extrêmement faible. Il en est de même avec des plateaux en argent ou en platine. Dans le premier cas, en remplaçant le cuivre par l'argent ou

le platine, l'effet ne change pas; dans le second, tout effet disparaît.

Ces faits peuvent encore être expliqués parfaitement au moyen de l'électricité dégagée dans l'action chimique, sans avoir recours à d'autres causes.

Le second métal, qui est en dehors du liquide, sert seulement de conducteur pour transmettre au condensateur l'électricité que prend le métal dans sa réaction sur le liquide. Le plus ou moins d'effets produits dépend du plus ou moins de facilité qu'éprouve l'électricité à franchir les obstacles qui se trouvent sur son passage, et d'effets secondaires dont il est souvent difficile de se rendre compte.

3e *Expérience.* La soudure des deux métaux plonge dans le liquide. On examine alors l'état des extrémités libres. Le plateau en zinc touchant le fil de zinc recueille une très-faible électricité positive; s'il touche le fil de cuivre, l'électricité est presque nulle. Le plateau de cuivre, mis en contact avec le zinc, ne donne pas d'effets sensibles. Avec le cuivre, il donne une faible électricité négative. L'argent ou le platine, remplaçant le fil de cuivre, le résultat est le même; remplaçant le zinc, le cuivre se comporte, quoique plus faiblement, comme le zinc.

La soudure étant plongée dans le liquide, il y a nécessairement un courant qui va du zinc au cuivre, en traversant le liquide; de sorte qu'à chaque instant l'électricité positive de la surface du zinc se décharge sur le cuivre. Mais d'où vient donc l'électricité positive recueillie par le plateau de zinc? Dans un article critique très-bien fait, qui se trouve dans la *Bibliothèque universelle de Genève,* tom. v, p. 161, on attribue cet effet, et avec raison, à l'action de l'air humide sur les parties libres des deux métaux soudés; j'ajouterai particulièrement sur le zinc, dont l'action doit se manifester ici.

4e *Expérience.* Le fait rapporté dans cette expérience est relatif à l'état des deux métaux, qui plongent dans le même liquide, sans se toucher. Si les fils employés

sont de zinc et de cuivre, le premier, quelle que soit la nature du plateau, donne toujours des indices d'électricité négative, et le cuivre des indices d'électricité positive. Ces effets, que j'ai fait connaître il y a longtemps, proviennent de la différence des actions chimiques produites par le liquide sur chacun des deux métaux, différence qui est en faveur du zinc, métal le plus oxidable; dès lors ce métal doit toujours prendre l'électricité négative.

5e *Expérience.* Dans cette expérience et d'autres qui la suivent, M. Karsten a eu pour but d'étudier l'état électrique de la partie immergée d'un métal, indépendamment de l'emploi d'un conducteur étranger ou extérieur au liquide. Il cite, comme premier fait, qu'un métal, notamment le zinc, qu'on laisse quelque temps en vase clos dans un liquide coloré par une teinture végétale rougie par un acide, rétablit la couleur bleue de l'infusion, et en même temps subit une oxidation. Ce fait est une conséquence de l'oxidation du zinc, qui met toujours en liberté dans la solution, soit de la soude ou de la potasse, si elle contient un sel alcalin, soit de l'ammoniaque par suite de la réaction de l'hydrogène mis à nu, sur l'azote de l'air contenu dans l'eau.

Jusqu'ici il n'y a rien de nouveau dans les expériences de M. Karsten; mais il n'en est pas de même dans l'expérience suivante :

Un fil de platine enroulé en spirale, et terminé en pointe, a été étroitement enveloppé d'une feuille de zinc, sans être cependant avec elle en contact immédiat; puis la pointe a été mise sur une petite masse de chlorure d'argent, substance insoluble dans l'eau. Quelque temps après, on reconnut sous la pointe des traces de réduction, qui cessèrent bientôt d'augmenter. Cet effet n'avait jamais lieu sans la présence du zinc, et à moins que la surface fût fraîchement décapée. M. Karsten a conclu de là que le platine a dû soutirer au liquide l'électricité négative, et qu'ainsi la partie immergée du zinc était positive. Ce fait intéressant s'explique très-bien dans la théorie électro-

chimique. L'électricité positive provenant de l'oxidation du zinc est soutirée inégalement au liquide par toute la surface de platine, en plus grande quantité par la pointe que par les autres parties, d'où résulte un courant qui rend la pointe négative.

M. Delarive est disposé à croire que ce phénomène est dû simplement à la difficulté qu'éprouve l'électricité positive du liquide à passer dans le platine, vu sa faible tension et la résistance que présente à sa propagation son passage du liquide dans le platine. Cette difficulté étant moindre vers la pointe, c'est par là que pénètre l'électricité positive, ce qui explique la décomposition du chlorure d'argent.

M. Karsten suppose, au contraire, que l'électricité du liquide est prise par le fil de platine entier, et qu'elle sort au lieu d'entrer par la pointe; il est donc obligé d'admettre que cette électricité est négative; tandis que, si elle entre par la pointe, comme cela doit être d'après ce que nous venons de voir, elle doit être positive. Le résultat observé par M. Karsten est d'accord avec la loi du dégagement de l'électricité dans les actions chimiques; tandis qu'elle est opposée aux conséquences que l'auteur croit pouvoir en tirer.

1327. L'auteur s'est appliqué du reste à démontrer l'insuffisance de la théorie de Volta, ainsi que la nécessité de reconnaître que la cause principale de l'activité de la pile existe à la surface de contact du liquide et du métal.

Voici les théorèmes sur lesquels s'appuie ce système.

1° Les métaux, peut-être tous les corps solides, deviennent positifs en étant plongés dans un liquide; celui-ci devient négatif.

2° Quand le corps n'est pas immergé en entier, les deux parties prennent des états électriques contraires.

3° Les corps diffèrent beaucoup, quant à leur force électromotrice, avec un même liquide, et c'est sur cette différence que repose l'activité électrique, chimique et magnétique de la pile.

4° Quand deux électromoteurs de force différente sont plongés dans un même liquide, sans y être en contact, le plus faible prend l'électricité opposée à celle du plus fort, et devient par conséquent négative.

5° La partie de l'électromoteur solide la plus faible possède également l'électricité contraire à celle de la partie immergée.

6° L'énergie électromotrice d'un liquide dépend de sa faculté d'acquérir, par la présence de deux électromoteurs solides dissemblables, un état en vertu duquel il cède plus ou moins facilement ses électricités contraires aux mêmes électromoteurs. Tous les liquides mauvais conducteurs possèdent en général cette faculté; mais elle n'appartient ni aux liquides parfaitement isolants, tels que les huiles grasses, etc., ni aux liquides très-bons conducteurs, tels que le mercure et les métaux liquéfiés. L'énergie électromotrice d'un liquide ne dépend cependant pas uniquement de son pouvoir conducteur, mais en outre, à ce qu'il paraît, de plusieurs autres conditions non encore suffisamment connues.

7° Les effets électromoteurs de deux métaux, formant avec un liquide un circuit fermé, résultent du dégagement et de la recomposition continue des électricités contraires dans le liquide. Ces effets sont excités par la relation électromotrice des deux électromoteurs inégaux envers le liquide; ils sont favorisés par la relation électromotrice de l'électromoteur le plus fort envers le plus faible, et sont accélérés par le contact immédiat des deux électromoteurs, en tant qu'ils sont de bons conducteurs pour l'électricité.

8° Les changements chimiques dans la pile sont à la vérité liés à la recomposition, au moyen des corps solides qui la composent, des électricités mises en jeu; mais il n'existe pas, entre ces phénomènes, de dépendances de causes et d'effets.

9° Dans une réunion de piles élémentaires (pile de Volta), les électricités contraires se neutralisent com-

plétement par les corps solides de chaque élément, et il n'y a pas de transmission d'électricité d'un élément à l'autre.

Je ne pousserai pas plus loin l'examen de la théorie de M. Karsten, attendu que les détails dans lesquels je suis entré suffisent pour montrer que les bases sur lesquelles elle repose sont inadmissibles dans l'état actuel de la science. Je n'en ai parlé avec détails qu'en raison de l'importance que quelques personnes ont voulu lui donner, pour défendre la théorie de Volta.

CHAPITRE II.

DES EFFETS DE CONTACT QUI PRODUISENT LA PASSIVITÉ DU FER ET DE QUELQUES AUTRES SUBSTANCES.

1332. Dans la première partie du Ve volume (1026, etc.), j'ai fait connaître les propriétés anomales du fer plongé dans l'acide nitrique, en raison des rapports qui peuvent exister entre ces propriétés et les effets de contact; je dis *qui peuvent exister*, parce que nous ne connaissons pas encore au juste la cause d'où dépend le phénomène. Je vais continuer maintenant à exposer les observations faites depuis par M. Schœnbein, qui s'occupe d'une manière toute spéciale de cette classe de faits. Commençons par les effets qui concernent l'action que le fer combiné voltaïquement avec le peroxide de plomb ou d'argent, exerce sur le sulfate de cuivre.

On prend un fil de fer, dont l'une des extrémités est recouverte de peroxide de plomb ou d'argent, suivant le procédé électro-chimique. Représentons par *a* l'extrémité recouverte, et par *b* l'extrémité naturelle. Quand on plonge l'extrémité *a* dans une solution de sulfate de cuivre, il ne s'y précipite pas de cuivre, même sur les parties du fil qui ne sont pas recouvertes de peroxide et qui plongent dans le liquide; il ne se précipite pas également sur *b* quand on y plonge cette extrémité.

Voyons ce qui arrive quand *a* et *b* communiquent voltaïquement par l'intermédiaire du fil d'un multiplicateur. On plonge d'abord *a*, puis l'extrémité *b*; ce dernier devient passif à l'égard du sulfate de cuivre, mais il

s'établit un courant continu qui va du fer rendu passif à l'extrémité *a*, à travers le liquide, absolument comme si le bout rendu passif était attaqué.

Si l'on a un fil de fer, communiquant par l'une de ses extrémités avec le pôle positif d'une pile, et qu'on le plonge par l'autre dans une dissolution de sulfate de cuivre, en fermant le circuit ensuite, il ne se dépose aucune trace de cuivre sur le fer, tandis qu'il se dégage de l'oxigène; en interrompant le circuit, le cuivre se précipite. Il résulte de là, suivant M. Schœnbein, que la passivité du fer est due à l'existence d'un courant voltaïque. Cela peut être dans ce cas-ci, mais non dans les cas ordinaires, où l'on est plutôt porté à croire que l'effet est du même ordre que celui que nous présente le zinc amalgamé, dont les propriétés vont nous occuper bientôt de nouveau.

Quand on fait communiquer ensemble deux vases remplis d'une dissolution de cuivre, au moyen de siphons remplis d'acide nitrique de 1,35, ou de mèches d'asbeste imbibées de la même solution, ou avec des fils d'or ou de platine, on observe les résultats suivants : si l'on plonge d'abord l'extrémité *a* dans l'un, puis l'extrémité *b* dans l'autre, cette dernière ne devient jamais passive; mais si la communication est établie avec du fer, du zinc, *b* devient inactif. Le cuivre se comporte comme le fer. Pour interpréter ces différents effets, il faut tenir compte de la résistance qu'éprouve le courant à traverser le conducteur métallique qui unit les deux dissolutions. Si le conducteur est un métal non oxidable, le courant passe moins facilement que lorsqu'il est oxidable, et alors il ne doit pas tendre à rendre le passif *b*, comme dans le dernier cas. Cette observation s'applique au fait suivant :

Les deux vases étant réunis par le fil d'épreuve, si l'on plonge d'abord une des extrémités d'un fil de fer à l'état ordinaire, dans le vase où se trouve *b*, puis l'autre dans le second vase, la première devient active et la seconde passive.

1333. Voyons maintenant les observations qu'on a faites pour montrer qu'il y a des courants voltaïques produits indépendamment de toute action chimique.

On sait que l'acier combiné voltaïquement avec du platine peut rester plongé pendant des années dans une solution de potasse sans s'oxider. On sait aussi que du fer plongé dans de l'eau pure et privée d'air n'éprouve aucune espèce d'altération. Il en est de même à l'égard du zinc, de l'étain et du plomb.

Suivant M. Schoenbein, et d'après l'opinion de plusieurs physiciens, il faut voir dans la tendance de deux substances à se combiner chimiquement une cause de perturbation dans l'équilibre électrique de leurs particules. Ainsi, quand le fer et l'eau parfaitement pure sont mis en contact, l'effort du métal pour se combiner avec l'oxigène doit produire dans les circonstances favorables un courant semblable à celui qui a lieu dans l'oxidation. Les expériences suivantes, d'après lui, sont favorables à cette théorie. Ayant laissé pendant quelque temps un fil de fer dans de l'eau pure en ébullition, pour enlever tout l'air qui pouvait y adhérer, il le plongea ensuite dans de l'eau distillée qui avait bouilli, et le fit communiquer au moyen d'un fil de platine avec l'une des extrémités du fil d'un galvanomètre; faisant ensuite communiquer un second fil de platine avec l'autre extrémité du fil et l'eau, on eut un courant qui allait du fer au second fil de platine à travers le liquide. La déviation fut de 40°. On pouvait craindre que le courant observé fût produit par l'oxidation des parties du fer qui se trouvaient sur la limite commune de l'air et de l'eau; pour éviter cette cause d'erreur, il fit plonger en entier ce métal dans l'eau et le résultat fut le même. En ajoutant de la potasse à l'eau, la conductibilité du liquide ainsi que la force du courant furent augmentées. Les expériences ont été faites également avec du zinc, du cadmium, du plomb, de l'étain, du mercure et de l'argent, métaux qui n'agissent pas sensiblement sur l'eau à la température ordinaire, et on a toujours obtenu les mêmes effets. M. Schœnbein s'est

adressé ensuite cette question : Pourquoi le fer uni voltaïquement au platine ne s'oxide-t-il pas lorsqu'on le plonge dans une solution de potasse? Il a cherché ensuite à prouver que, contrairement à l'hypothèse de M. Delarive, un courant se produit alors et va du fer au platine, à travers la dissolution de potasse. Puis il ajoute que c'est un fait bien connu, que des courants de très-faible intensité peuvent passer à travers des électrolytes sans les décomposer et sans oxider le fer, et qu'en admettant même qu'une petite portion de l'eau soit décomposée par l'effet du courant, il n'en résulte pas que l'oxigène devenu libre doive se combiner avec le fer positif, attendu que lorsque le fer remplit les fonctions d'électropositif, il peut rester chimiquement indifférent à l'égard de l'oxigène. Telle est l'opinion de M. Schœnbein sur la production de courants voltaïques, indépendamment de toute action chimique. Je prendrai la liberté de lui faire remarquer que l'état de polarisation de deux lames de platine qui ont servi à faire passer le plus faible courant possible dans une solution saline, ne peut jamais s'effectuer sans un dépôt d'éléments sur les lames et par suite sans qu'il en résulte une décomposition électro-chimique; dès lors on ne peut admettre, comme il le dit, que *des courants* de très-faible intensité puissent passer à travers des électrolytes sans les décomposer. Quant à son observation, que lors même qu'une petite portion d'eau serait décomposée, il n'en résulte pas que l'oxigène devenu libre se combine avec le fer, elle est extrêmement juste; mais il peut se faire aussi que cet oxigène réagisse sur l'eau et donne lieu à un courant secondaire; au surplus, dans tous les cas il y a action chimique.

CHAPITRE III.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ PRODUIT DANS LES ACTIONS CHIMIQUES ET DANS LES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE.

§ Ier. *Des courants électriques produits dans l'action chimique des liquides les uns sur les autres.*

1334. M. Mousson, professeur à l'université de Zurich, frappé de l'influence qu'exercent sur les phénomènes électro-chimiques les courants électriques produits dans l'action chimique des liquides les uns sur les autres, a repris l'étude de ces courants, sur lesquels j'avais déjà donné de grands développements (1).

Voici les principes qui ont servi de point de départ à M. Mousson pour faire ses expériences (2):

1° Fixer d'une manière précise le moment où commence l'action chimique, afin qu'il ne reste aucun doute sur sa coïncidence avec le mouvement de l'aiguille.

2° Éviter le mélange irrégulier des liquides, d'où résulterait un affaiblissement du courant recueilli par le galvanomètre.

3° Multiplier le nombre de points des deux liquides qui au même instant réagissent les uns sur les autres, attendu que de ce nombre dépend la quantité d'électricité développée.

4° Diminuer enfin le plus possible l'étendue des li-

(1) Tom. II, p. 29, 30 et. suiv.
(2) Bibl. univ. de Genève, t. XXI, p. 170.

quides que le courant doit parcourir avant d'atteindre les fils polaires, puisque l'obstacle qui en résulte se trouve être, suivant les expériences de M. Fechner, directement proportionnel à la longueur du trajet, et inversement à la section des liquides.

Voyons de quelle manière M. Mousson a rempli ces quatre conditions, dont l'importance est incontestable, quand il s'agit de trouver un rapport entre l'énergie de l'action chimique et l'intensité du courant : il a choisi pour électrodes deux disques circulaires de deux pouces de diamètre, de platine ou d'argent ; à chacun d'eux, et au centre de l'une des faces, est fixé un fil de platine destiné à être mis en rapport, au moyen d'une capsule remplie de mercure, avec un des bouts du fil du multiplicateur. On applique sur ces disques d'autres disques de même diamètre, de papier non collé et humectés des liquides sur lesquels on veut expérimenter, puis l'on rapproche chaque disque parallèlement, et on les pose l'un sur l'autre avec pression. La déviation de l'aiguille aimantée annonce aussitôt l'existence du courant.

1335. L'expérience a prouvé qu'en se bornant à l'action initiale, et en interrompant immédiatement après la communication avec le multiplicateur, on n'avait pas à craindre l'action des liquides sur les disques opposés. Ce moyen est, à la vérité, le seul qu'on puisse employer pour éviter la grande diminution qu'on observe dans l'intensité du courant, par suite de la prompte combinaison des substances en présence, et de la cristallisation qui en est la suite, laquelle arrête peu à peu la circulation de l'électricité.

Mais on peut dire aussi que les disques de métal se couvrent promptement de substances provenant de la décomposition électro-chimique, lesquelles ne pouvant pas être enlevées aussi rapidement que lorsque ces disques plongent dans des liquides, polarisent instantanément ces mêmes disques, de manière à produire des courants en sens contraire; mais comme ce mode, par sa simplicité, présente des avantages, je vais rapporter les

résultats que M. Mousson a obtenus avec un multiplicateur de 350 à 400 tours. Dans les séries suivantes, la substance qui laisse dégager de l'électricité négative est placée la première :

Potasse, acide nitrique : l'aiguille pirouette plusieurs fois.
Ammoniaque liquide, acide nitrique : l'aiguille pirouette.
Idem..... acide acétique : l'aiguille va à 40°.
Potasse, eau pure.....25 à 30
Ammoniaque, eau pure..... 30
Potasse, sulfate de soude.....100
Potasse, oxalate acide de potasse..... 95
Potasse, nitrate de potasse..... 80

Je ferai remarquer que la potasse ne réagissant pas sur son nitrate, le courant produit est dû à la réaction de la potasse sur l'eau dans laquelle le nitrate est dissous ; il n'en est pas de même du courant produit dans le contact de la potasse avec le sulfate de soude.

Eau, acide nitrique : 90°.

Eau, acide sulfurique : de fréquentes anomalies. Dans le premier moment le courant est très-faible ; il change rapidement de direction, et l'aiguille est élancée dans le sens opposé, comme si l'eau jouait le rôle d'acide. Dans quelques cas, le courant direct est insensible, tandis que la déviation inverse va jusqu'à 80°.

Acide hydro-chlorique, eau : de nombreuses anomalies, comme pour l'acide sulfurique ; il en est de même de cet acide avec des dissolutions salines.

M. Mousson n'a pas tenu compte, ici, des effets thermo-électriques résultant de l'échauffement des disques de métal pendant la combinaison de l'acide sulfurique ou de l'acide hydro-chlorique avec l'eau ou les corps sur lesquels ils réagissent, effets qui se font sentir plus facilement que dans les procédés dont j'ai fait usage, puisque les disques ne sont séparés des surfaces agissantes que de l'épaisseur d'une feuille de papier, tandis que dans les autres ils sont beaucoup plus éloignés de ces

mêmes surfaces. Je ferai remarquer en outre que le changement de direction du courant ayant lieu presque immédiatement après le commencement de l'action, on est porté aussi à admettre que la polarisation des disques est une des causes agissantes; ainsi ce renversement dans le sens du courant serait donc un effet secondaire.

Continuons à rapporter les effets observés.

Sulfate de soude, acide nitrique.....	30°
Nitrate de potasse, acide nitrique.....	14

Les effets de l'acide nitrique ne présentent que très-peu d'anomalies.

Eau et acide acétique.....	6°	
Eau et acide tartrique.....	7	
Acide oxalique, eau.....	4	courant contraire.
Nitre *idem*, eau.....	8	
Borate de soude, eau.....	10	
Eau, alun.....	7	
Eau, sulfate de soude.....	10	
Eau, alcool.....	3 à 4	
Eau, éther sulfurique.....	2 à 3	

Nous voyons dans ces derniers résultats, comme on le savait déjà (1), que les sels, dans leur réaction sur l'eau, prennent l'électricité positive ou négative, selon qu'ils sont acides ou alcalins.

1336. Le procédé de M. Mousson est, à la vérité, très-simple; mais il présente plusieurs inconvénients qui ne permettent d'agir que pendant peu d'instants, si l'on veut éviter les effets secondaires. Ce n'est pas tout encore: les résultats rapportés ci-dessus ne sont pas comparables entre eux, attendu que, dans chaque expérience, la conductibilité du circuit change. Je m'occupe dans ce moment d'un travail pour lever cette difficulté.

---

(1) Tom. II, p. 31.

§ II. *Des courants électriques produits par le contact des métaux et des sels en fusion.*

1337. Lorsqu'on plonge dans un liquide conducteur alcalin ou acide deux fils de platine en relation avec un multiplicateur, et qui n'ont pas la même température, on a un courant qui va du fil chauffé à celui qui ne l'est pas, à travers le liquide, ou dans une direction contraire, toutes les fois que le métal n'est pas attaqué par le liquide; M. Th. Andrews (1) a cherché ce qui se passait quand on substituait au liquide un sel en fusion. Il a fait usage pour cela d'un multiplicateur très-sensible à long fil. Ayant fait fondre à l'une des extrémités libres d'un des fils de platine un fragment de borax, à la flamme d'une lampe à alcool, et ayant chauffé l'autre fil à une température plus élevée que le premier, il mit celui-ci en contact avec le globule fondu; l'aiguille fut aussitôt fortement déviée, et le courant fut dirigé comme ci-dessus du fil le plus chaud au fil le plus froid. Le courant était continu toutes les fois qu'on dirigeait la flamme de manière que l'un des deux fils fût plus échauffé que l'autre.

Le courant est capable de traverser une colonne d'eau aiguisée avec de l'acide sulfurique et longue d'un demi-pouce, ce qui prouve qu'il a une certaine intensité.

Le carbonate de soude fondu se comporte de même, seulement le courant est plus énergique.

Avec des électrodes d'une surface inégale, M. Andrews a obtenu des décompositions électro-chimiques; un morceau de papier simple, humecté d'une solution d'iodure de potassium introduite dans le circuit, a fourni de l'iode sur la lame positive. Au moyen de quatre appareils semblables au précédent, disposés de manière à former une pile, on est parvenu à décomposer l'eau acidulée. Avec vingt appareils, on a obtenu une sensation marquée sur la langue, mais jamais d'étincelle.

On a obtenu avec plusieurs appareils de semblables

(1) Bibl. univers., t. x.

effets, avec le chlorure de potassium, le sulfate de soude, le chlorure de strontium, etc. Le platine qui sert à ces expériences conserve son brillant, ce qui prouve qu'il n'est nullement altéré.

1338. Les fils de palladium se comportent comme ceux de platine.

Lorsque le platine est opposé au palladium, à l'or ou à l'argent, le courant est toujours dirigé du platine à l'autre métal au travers du globule fondu, pourvu que le platine soit le métal le plus échauffé. Si le palladium est le plus chaud, le courant est inverse. Ces expériences prouvent que les effets produits sont dus à la température relative des fils, puisque ces derniers ne paraissent pas attaqués.

1339. Quand on soumet à l'expérience le platine, le cuivre et un globule de carbonate de soude ou de borax, si le platine a une température plus élevée que le cuivre, le courant va de ce métal au cuivre au travers du sel. Le courant est inverse toutes les fois que l'action chimique est assez considérable pour qu'il se forme une grande quantité d'oxide de cuivre; dans ce cas, le courant électro-chimique l'emporte sur le courant thermo-électrique.

En substituant le fer au cuivre, l'action chimique devient vive, et le courant va du fer au platine, ce qui annonce un effet électro-chimique puissant.

Pour obtenir un courant inverse, il faut fondre un globule de borax sur un fil de fer, dans la partie désoxidante de la flamme, et mettre ce globule en contact avec le fil de platine; mais il est difficile de faire réussir l'expérience.

En opposant le platine à l'antimoine, au zinc, au plomb et à l'étain, il est difficile de maintenir fondu le globule, même appartenant à un sel très-fusible, sans que le métal se fonde lui-même; mais quand le platine est rouge de feu, le courant va toujours du platine au métal oxidable; ce qui annonce encore une effet électro-chimique.

1340. Jusqu'ici il n'a été question que des courants thermo-électriques et électro-chimiques produits au moyen de deux métaux en fils ou en lames, dont deux bouts plongent dans un sel fondu; mais on peut obtenir également un courant avant la fusion du sel : dans ce cas, la direction du courant est difficile à interpréter, comme on va le voir.

On remplit, en partie, une petite cuiller de platine de carbonate de soude fondu, et l'on plonge dans le sel un gros fil de même métal, en évitant le contact métallique. Aussitôt après le refroidissement, le fil et la cuiller sont mis en communication avec le multiplicateur. Si l'on chauffe ensuite légèrement la cuiller, au moyen de la flamme de la lampe à alcool, on a un courant qui va de la cuiller au fil, c'est-à-dire, du métal chaud au métal froid, En continuant à chauffer le fond de la cuiller, jusqu'à ce que le sel en contact avec elle commence à fondre, tandis que la partie qui entoure le fil est encore solide, on obtient alors un fort courant qui va cette fois du fil à la cuiller, c'est-à-dire, du métal froid au métal chauffé. Quand la cuiller est assez chauffée pour que tout le sel soit fondu, le courant est de nouveau renversé, c'est-à-dire qu'il va du métal chaud au métal froid. Il suffit du plus léger mouvement de la flamme pour voir l'aiguille s'élancer d'une extrémité de zéro à 90°.

1341. Avec le verre on obtient des changements analogues dans la direction des courants. Ainsi, quand un fil de platine, recouvert d'une faible couche de verre, est mis en contact avec un autre fil plus fortement chauffé, le courant va du métal le plus chaud au métal moins chaud à travers le verre. Avec une couche de verre plus épaisse on obtient d'abord un courant qui va du fil chaud au fil froid; mais le courant change de direction quand on élève de nouveau la température. J'ai obtenu des effets électriques de tension dans des cas semblables (1), mais

(1) Tom. II, p. 35.

non des effets inverses. Comme il est difficile d'expliquer ces derniers résultats, je dois me borner à les signaler à l'attention des physiciens.

§ III. *Développements relatifs aux phénomènes thermo-électriques.*

1342. M. Matteucci a publié dernièrement (1), sur les phénomènes thermo-électriques, quelques observations dont plusieurs sont connues depuis longtemps; certes on ne peut qu'applaudir au désir bien louable qu'éprouvent quelques personnes de reculer les limites de la science; mais il faut avant tout ne pas tant appuyer sur des faits qui lui sont acquis. Sans entrer dans aucune discussion à cet égard, je renvoie le lecteur au tome II, page 39 et suivantes de mon ouvrage.

Je passe donc sous silence la première partie du travail de M. Matteucci, pour en venir à la seconde qui traite des phénomènes observés par M. Sturgeon, dans des cadres, des anneaux, ou des masses solides régulières de bismuth et d'antimoine. On sait que si l'on chauffe divers points de ces corps avec une lampe (2), on en trouve qui produisent des courants électriques et d'autres qui n'en donnent pas. Ces derniers, qu'on appelle *points neutres*, correspondent particulièrement aux endroits par lesquels le métal fondu a été introduit dans le moule; ils jouissent de cette propriété, qu'en chauffant à droite ou à gauche, on a un courant qui va dans un sens ou dans un autre.

On a vu (3) que M. Sturgeon attribue la présence de ces points neutres à quelques modifications particulières produites pendant le coulage des barreaux dans l'ar-

---

(1) Bibl. univ., tom. XVIII, p. 353.
(2) Tom. II, pag. 42 et suiv.
(3) Ibidem.

rangement des molécules; que, dans tous les circuits, le point où la matière est versée dans le moule est un point inactif quand on élève sa température, et que l'intensité de chaque courant varie en raison du point chauffé, et dépend en grande partie de la structure du barreau.

M. Matteucci, pour répéter ces expériences, s'est servi d'un appareil à peu près semblable à celui de M. Sturgeon, ainsi je crois inutile de le décrire ici.

Soit ABCD (fig. 2) un cadre de bismuth coulé dans un moule par le milieu N du côté AD; le point N est le point neutre; c'est-à-dire qu'on n'obtient un courant qu'autant qu'on chauffe avec une lampe en *n* ou *n'*; dans les deux cas, les courants vont en sens contraire. Avec un cadre d'antimoine, les effets sont encore les mêmes, mais avec cette différence, d'après M. Matteucci, qu'avec le bismuth, si l'on chauffe en *n*, le courant suit la direction ABCD, tandis qu'il suit une direction opposée dans l'antimoine. J'avoue que je ne conçois pas l'opportunité de cette distinction; car il doit se trouver des cadres en bismuth dans lesquels en chauffant en *n*, le courant chemine en ABCD, comme dans l'antimoine, toujours avec la condition qu'en chauffant en *n'* on a un courant en sens inverse. Le sens du courant, quand on chauffe en *n* (qui est un point quelconque), peut être le même ou différent dans le bismuth ou l'antimoine, parce qu'il dépend de circonstances particulières à la cristallisation, et non parce qu'il est placé en haut. J'ajouterai cependant que M. Matteucci a fait quelques observations qui, bien qu'en rapport avec les faits découverts par MM. Seebeck et Sturgeon, méritent d'être signalées ici. Si l'on fait fondre et refroidir lentement dans le moule le cadre de bismuth ou d'antimoine, les points neutres disparaissent et se montrent dans tous les endroits où il s'est fait des champignons, c'est-à-dire, dans les points où la matière liquide intérieure a soulevé la croûte.

On peut encore produire des points neutres en refroidissant rapidement une très-petite portion d'un des cadres.

CHAPITRE IV.

DES EFFETS ÉLECTRIQUES PRODUITS DANS LES ACTIONS MÉCANIQUES.

§ Ier. *Des courants électriques produits dans le dérangement des particules des métaux.*

1343. Quoique j'aie traité la question du dégagement de l'électricité par frottement avec de grands détails dans le second volume (pag. 113 et suiv.), je dois cependant rapporter ici des résultats qui n'ont pu y être insérés à l'époque où il parut, soit parce qu'ils n'étaient pas encore connus, soit parce qu'ils n'avaient pas encore été assez étudiés.

M. Peltier a montré que le plus léger changement dans la position d'équilibre des particules d'un circuit métallique fermé suffit pour produire un courant, et par conséquent pour troubler l'équilibre des forces électriques. Pour le prouver, on prend un fil de cuivre non recuit, mis en rapport avec un multiplicateur à fil court. On forme ensuite avec ce fil un grand cercle, soutenu de distance en distance par des supports, puis on le place alternativement dans le méridien magnétique, dans un plan perpendiculaire ou dans une position intermédiaire, afin de faire la part de l'action inductive du globe. L'équilibre de température étant établi, on soulève ou l'on abaisse une partie du fil; il se forme alors des flexions qui ne peuvent avoir lieu sans un déplacement de particules et par suite sans qu'il y ait un courant électrique.

Il arrive quelquefois qu'il n'y a aucun effet produit; cela a lieu probablement quand il se développe deux courants égaux et dirigés en sens contraire de chaque côté du point ébranlé. Lorsque cette circonstance se présente, il faut écrouir quelques portions d'un côté de l'arc au moyen de la percussion ou de la torsion, ou bien les faire recuire. Cette cause d'inégalité suffit pour faire naître le courant par la simple flexion du fil.

Ces courants ne peuvent être attribués à l'induction terrestre, attendu qu'ils se manifestent, quelle que soit la position du circuit par rapport au méridien magnétique. Quant au sens du courant, il tient à des différences dans l'état moléculaire dont il est impossible de se rendre compte.

Pour montrer combien peu il faut déranger l'état moléculaire des corps pour troubler l'équilibre des forces électriques, je citerai les faits suivants : on obtient un courant variable de direction en frottant le fil entre les doigts ou avec du drap; on le provoque encore en le tirant à la filière, quand les deux bouts, bien entendu, sont en communication avec un multiplicateur.

Pour concevoir tous ces phénomènes, il suffit de se rappeler les effets électriques de clivage, qui montrent que lorsqu'on détruit la force d'aggrégation, chacune des parties séparées possède un excès d'électricité contraire, dont la nature doit dépendre de l'espèce de polarité que possède la face de la particule en contact avec la face de l'autre, en admettant, bien entendu, que toutes les faces d'une même particule ne jouissent pas des mêmes propriétés électriques; cette supposition est très-admissible; car si l'on ne l'admettait pas, on ne voit pas comment on pourrait expliquer l'attraction moléculaire qui s'exerce entre des particules dont toutes les faces seraient douées des mêmes facultés. Cela posé, lorsqu'on déplace momentanément par le frottement, ou tel autre mode d'action mécanique que l'on voudra, les particules d'un fil ou d'une lame de métal, on opère en quelque sorte un clivage momentané qui doit rendre libre une

portion des deux électricités tenues en équilibre entre deux parties contiguës, et si une portion de ces deux électricités, par des causes que nous ne pouvons apprécier, trouve plus de facilité à suivre le circuit du multiplicateur qu'à réagir au contact pour reformer du fluide neutre, il y a alors production de courants électriques.

Dans les recherches relatives à la production des courants électriques par des actions mécaniques, il faut se mettre constamment en garde contre l'induction magnétique terrestre. Nous citerons particulièrement celles qui sont relatives au frottement de deux lames métalliques l'une sur l'autre.

§ II. *De l'électricité dégagée dans le frottement des corps mauvais conducteurs.*

1344. Dans les expériences sur le frottement, nous n'avons jamais eu égard qu'au frottement, sans faire attention à la pression sous laquelle les corps se trouvent pendant cette action, ainsi qu'à la vitesse : je vais rapporter les recherches qui ont été faites par M. Péclet pour connaître l'influence exercée par chacune de ces causes sur le dégagement de l'électricité.

Ce physicien a disposé une machine électrique avec laquelle il pouvait avoir égard au temps, à la vitesse et à la pression. L'appareil était tellement disposé que toutes ces conditions étaient constantes.

Cet appareil est composé, 1° d'un cylindre de verre traversé par un axe en fer; 2° d'un frottoir en bois ayant la courbure du cylindre et sur lequel on peut établir différentes lames flexibles; 3° de deux tiges métalliques placées à la partie supérieure du frottoir, et destinées à recevoir des poids; 4° d'un peigne métallique placé sur un support isolant et communiquant avec un électromètre à paille, terminé par deux boules de sureau, dont l'écartement est mesuré au moyen d'un cadran placé convenablement.

En employant pour frottoir le papier nu, ou couvert de cuivre, d'étain, d'argent ou d'or, de soie, de coton, etc., la tension va en augmentant pendant un certain temps qui est très-court, après quoi elle reste constante.

La manivelle, dans les expériences dont les résultats suivent, faisait une révolution en 8, 4, 2 secondes, et la vitesse était la même pendant un certain temps.

Avec les frottoirs ci-dessus indiqués, et des cylindres de verre, de résine ou de taffetas ciré, la tension est indépendante de la vitesse, excepté avec des corps garnis de longs filaments.

Si l'on décharge le cylindre avec une frange métallique placée du côté opposé au peigne, la tension diminue avec la vitesse, et d'autant plus que le frottoir est plus mauvais conducteur; la quantité d'électricité paraît donc proportionnelle à la vitesse quand on emploie la frange. Relativement à l'influence de la pression, le mouvement de rotation étant uniforme, on a mis le frottoir sous la pression de un à deux kilogr.; puis on a soumis successivement à l'expérience des cylindres en verre, en résine ou en bois, enveloppés de taffetas ciré ou de satin; les frottoirs étaient les mêmes que précédemment. Dans ces différents cas, la déviation des deux pailles est restée constante pour chaque corps, quelle que fût la pression, que le cylindre fût déchargé ou non.

M. Péclet explique ainsi ce dernier résultat : Le contact réel n'existe que sur une partie de l'étendue du contact apparent; ce sont effectivement les points en contact qui supportent la pression, qui frottent et qui produisent de l'électricité. Le nombre et l'étendue de ces points doit augmenter avec la pression, mais dans un rapport avec la charge, qu'il est bien difficile d'apprécier. Il pense donc qu'au delà d'une certaine pression, le nombre des points de contact n'augmentant pas, l'influence de la pression doit cesser. La conséquence qui paraît résulter de ces faits, c'est que la pression et la vitesse sont

sans influence sur les effets produits, et que la quantité d'électricité est proportionnelle à la vitesse, quelle que soit la pression.

1345. M. Péclet, dans l'explication qu'il a donnée des faits observés, a fait abstraction de l'électricité qui se recombine à la source même où elle se dégage, quand on ne met aucun obstacle à cette recomposition. C'est faute d'avoir négligé cette condition que plusieurs physiciens ont été induits en erreur dans les explications qu'ils ont données des phénomènes relatifs au dégagement de l'électricité.

On peut, je crois, adopter les deux principes suivants pour interpréter les effets produits : 1° lorsque la décomposition des deux électricités dans le frottement s'effectue plus rapidement que la recomposition, la tension électrique augmente; 2° si la recomposition se fait dans un temps appréciable, plus on tournera vite, plus la tension maximum augmentera. J'ajouterai qu'il arrive un certain point, quand on tourne rapidement, où la tension de l'électricité dégagée est telle, qu'une portion des deux électricités se recombine malgré la mauvaise conductibilité des corps frottés. On conçoit, d'après cela, comment il se fait que l'on arrive à une tension maximum que l'on ne saurait dépasser, attendu que les deux électricités se recombinent toujours en partie au contact, le frottement n'étant jamais tellement instantané que la séparation des deux corps puisse s'effectuer dans un temps infiniment petit. Voilà comment il faut concevoir que le dégagement de l'électricité est indépendant de la pression et de la vitesse du frottement. On voit donc que le dégagement de l'électricité, dans les circonstances où M. Péclet l'a envisagé, est une des questions les plus complexes de la science électrique, attendu que l'on n'a aucun moyen de pouvoir apprécier les quantités d'électricité dégagée qui se recombinent au contact pour reformer du fluide neutre. De cette quantité plus ou moins considérable des deux électricités qui se recombinent au contact, dépendent tous les effets qui ont été observés par M. Péclet.

§ III. *Du dégagement de l'électricité par frottement dans l'air raréfié et dans le vide.*

1346. La question du dégagement de l'électricité dans l'air raréfié et dans le vide occupe les physiciens depuis longtemps; comme on l'a reprise dans ces derniers temps, et que les résultats auxquels on est parvenu sont les mêmes, à quelques différences près, que ceux qu'on avait obtenus anciennement, j'ai pensé que l'on verrait avec intérêt le précis de tout ce qui a été fait à cet égard.

Hauksbée est un des premiers qui se sont occupés de ce genre de recherches; puis Gray a publié, en 1732, un travail sur le même sujet dans les Transactions philosophiques. Ce dernier a observé que des corps électrisés placés dans le vide de la machine pneumatique attirent presque à la même distance que dans l'air, les corps légers qu'on leur présente. L'expérience fut faite avec une boule de verre creuse, de deux pouces et demi de diamètre, laquelle ayant été frottée fut suspendue dans un récipient vide d'air au moyen d'un fil de soie passant dans la boîte à cuir de ce récipient. Cette boule attirait des feuilles de clinquant placées sur la platine de la machine pneumatique, à la même distance, que le récipient fût vide ou plein d'air. Le soufre, la gomme laque, la résine et la cire blanche présentèrent les mêmes effets.

Dufay, qui s'est occupé du même sujet, a fait usage également d'un récipient ouvert par en haut et muni d'une boîte à cuir. Une tige de métal traversait la boîte et entrait dans le récipient. Cette tige portait à son extrémité inférieure une vis à laquelle était adaptée une boule de succin, de verre ou de toute autre substance. L'extrémité supérieure de la tige était garnie d'une petite poulie que l'on mettait en mouvement au moyen d'un archet. Dans l'intérieur du récipient se trouvait une pince garnie d'étoffe ou de toute autre substance, qui embrassait et serrait le corps soumis au frottement. Des fils suspendus

dans le récipient indiquaient, en se portant vers ces corps, si ces derniers étaient électrisés ou non électrisés.

Dufay trouva que dans le vide fait à trois lignes, les corps cités plus haut jouissaient de la propriété d'attirer comme dans l'air, après avoir été frottés.

Boyle confirma ce fait.

1347. On peut objecter à ces résultats que les corps soumis à l'expérience, étant mauvais conducteurs, retenaient l'électricité que le frottement leur avait donnée, indépendamment de la pression de l'air atmosphérique. Telle est, au surplus, la manière dont on a envisagé jusqu'ici ce phénomène; mais nous verrons plus loin que l'objection n'est pas fondée, et que le phénomène doit être considéré sous un point de vue plus général.

Dufay ayant soumis à l'expérience une boule solide de cristal de roche, en prenant pour frottoir une feuille de papier, trouva que les effets n'étaient pas aussi sensibles dans le vide que dans l'air, mais que sa vertu se rétablissait lorsqu'on faisait rentrer l'air. Ce physicien a cru devoir conclure de ce résultat, et d'autres que je ne rapporte pas ici, que les corps qui donnent de l'électricité résineuse, tels que le succin, la gomme copal, etc., l'acquièrent dans toutes sortes de milieux, tandis que les corps vitreux ne prennent que peu d'électricité dans le vide, quoiqu'ils la conservent dans ce vide lorsqu'ils l'ont acquise dans l'air. Je ferai remarquer qu'il peut très-bien se faire que la vapeur d'eau qui s'attache plus facilement aux substances vitreuses qu'aux substances résineuses, quand elle se précipite en faisant le vide, soit la cause de la différence des effets observés.

1348. Passons maintenant aux expériences qui ont été faites postérieurement, ainsi que dans ces derniers temps, sur le dégagement de l'électricité dans le vide.

Lavoisier avait disposé un appareil pour traiter à fond la question du dégagement d'électricité dans le vide, mais une mort prématurée, que les sciences déploreront à jamais, ne lui a pas permis d'en faire usage. Cet appa-

reil, qui se trouve aujourd'hui dans les collections de l'Académie des sciences, se compose d'une grande cage en verre, d'un seul morceau, sous laquelle se trouve une machine électrique ordinaire, munie de tous ses accessoires. Le plateau est dans une position horizontale, ainsi que les coussins. L'axe, qui est vertical, passe dans une boîte à cuir et est terminé à son extrémité supérieure par une manivelle destinée à le mettre en mouvement. A la partie supérieure de la cage, et attenant à l'axe, se trouve une grande virole en cuivre, communiquant avec les coussins de la machine électrique; quand on tourne la manivelle, on touche la virole pour donner écoulement à l'électricité négative. Deux ouvertures sont pratiquées à cette cage; à l'une est fixé, au moyen d'une virole en cuivre, un tube de verre recourbé de plus de trente pouces, qui plonge dans un bain de mercure; à l'autre est adapté un bouchon de liége, dans lequel passe une tige de métal en communication avec le conducteur de la machine électrique. Enfin, la cage est placée sur une platine qui, au moyen de tubes de communication, peut être mise en rapport avec une machine pneumatique et des récipients qui renferment différents gaz.

On commence par faire fonctionner la machine dans l'air, en tournant avec la même vitesse, et l'on juge de la tension de l'électricité dégagée au moyen d'un électromètre placé à peu de distance de la tige de communication. On fait ensuite le vide et l'on voit quelle est la tension. Je me borne ici à donner la description de cet appareil, qui peut servir à faire un grand nombre de recherches.

1349. J'arrive maintenant aux expériences qui ont été faites dans ces derniers temps sur le dégagement de l'électricité et sur sa conservation dans le vide. Cette question, je le répète, quoique d'un grand intérêt, a peu attiré jusqu'ici l'attention des physiciens. L'idée que l'on s'est faite de la manière dont l'électricité est retenue à la surface des corps, a détourné les esprits de ce genre

cherches. La théorie admise jusqu'ici suppose qu'il existe deux fluides impondérables, éminemment élastiques, dont les molécules de chacun d'eux jouissent de la propriété de se repousser en raison inverse du carré de la distance, et d'attirer celles de l'autre, suivant la même loi. Cette même théorie, par suite des résultats de l'analyse, admet que l'électricité n'est retenue à la surface des corps que par la résistance que l'air lui oppose pour l'empêcher de se dissiper. On conçoit qu'avec une semblable théorie, qui paraît reposer sur des bases inébranlables, on devait faire peu d'attention à des faits qui étaient en opposition avec les résultats de l'analyse mathématique. Ces faits pouvaient tenir, disait-on, à des causes inaperçues qui ne pouvaient infirmer en rien les lois obtenues. Passons maintenant aux expériences. Wollaston, comme nous l'avons déjà vu (1), après lui plusieurs physiciens, et en particulier M. Péclet, ont cherché s'il était possible de faire fonctionner la machine électrique ordinaire, munie de coussins enduits d'amalgame ou d'or massif, dans le vide, dans l'air ou dans différents gaz. Wollaston essaya de prouver que le dégagement de l'électricité, en général, est dû à une oxidation. Il établit à cet effet un petit cylindre avec ses coussins enduits d'un amalgame très-oxidable de zinc ou d'étain, et ses conducteurs, dans un récipient tellement disposé, qu'il pouvait enlever à volonté l'air qu'il renfermait et le remplacer par un autre ou par un gaz. Après avoir essayé le degré d'énergie de l'appareil dans l'air, il substitua à ce dernier du gaz acide carbonique, et trouva que tout développement d'électricité était suspendu. Les signes d'électricité reparaissaient aussitôt que l'on introduisait de l'air dans le vase. Il trouva encore qu'en enduisant les coussins avec un amalgame d'argent ou de platine, qui n'est pas susceptible de s'oxider, on ne pouvait jamais obtenir d'électricité. De là il conclut que le dégagement de l'électricité est

(1) Tome II, pag. 76.

réellement dû à une oxidation. M. Gay-Lussac, qui a répété ces expériences, a trouvé que le dégagement d'électricité a également lieu avec des amalgames très-oxidables dans une atmosphère de gaz acide carbonique, pourvu que ce gaz soit privé de la plus grande partie de son eau hygrométrique.

1350. M. Péclet s'est attaché aussi à déterminer l'influence de l'action chimique de l'air sur les amalgames; il a commencé par chercher le pouvoir conducteur de l'air et des gaz, dans la supposition où ce pouvoir conducteur pouvait agir sur les effets observés. Il a fait construire à cet effet deux balances de Coulomb, parfaitement semblables. Chacune d'elles est percée d'un orifice dans lequel passe un petit tube de verre mastiqué sur les parois et renfermant une tige de cuivre, terminée par des boules égales de métal. Cette tige est destinée à transmettre de l'électricité au disque de clinquant. L'intérieur du vase communique au dehors au moyen de deux tubes, dont l'un s'élève jusqu'au sommet et l'autre seulement jusqu'à une petite distance du fond. Ces tubes sont destinés à enlever les gaz de l'intérieur des vases et à en mettre d'autres à leur place. Le tube destiné à l'introduction des gaz communique avec un large tube extérieur rempli de chlorure de calcium. Un de ces appareils communique avec une soufflerie, l'autre avec un appareil destiné à produire de l'acide carbonique. Après avoir donné aux deux boules de métal la même quantité d'électricité, afin que les deux balances soient chargées au même degré, on fait passer dans une des balances un courant d'air sec, et dans l'autre un courant de gaz acide carbonique également sec. M. Péclet, en opérant avec ces deux appareils, a trouvé que les déviations dans la balance pleine d'air et les déviations dans la balance remplie d'acide carbonique après le même temps, comptées à partir de l'origine de la répulsion, étaient absolument les mêmes. Il en a conclu dès lors que les facultés conductrices de l'air et de l'acide carbonique, pour les effets qu'il avait en vue, c'est-à-dire, pour les actions ré-

pulsives de l'électricité, étaient les mêmes. Il a admis alors que s'il existait une différence entre les quantités d'électricité dégagée par frottement dans ces deux gaz, cette différence ne pouvait provenir que d'une action directe de chacun d'eux dans la production de l'électricité, et nullement de leurs pouvoirs conducteurs.

Pour faire les expériences de frottement dans différents gaz, M. Péclet s'est servi d'une cloche, traversée par une tige en fer passant dans une boîte à cuir et portant un cylindre de verre. La tige est mise en mouvement au moyen d'un système de deux roues muni d'une manivelle. Sous la cloche se trouve un coussinet fixe enduit d'or mussif, et du côté opposé un peigne métallique communiquant à un fil de cuivre qui sort de la cloche, et se prolonge jusqu'à un électroscope placé dans une cloche dont l'air est désséché avec du chlorure de calcium. La cloche est munie de deux tubes de verre, l'un destiné à amener le gaz desséché, l'autre à le faire sortir. Il a opéré successivement avec l'air et le gaz acide carbonique parfaitement desséché; il faisait passer le gaz dans le vase pendant un temps assez long pour que l'intérieur ne renfermât plus que $\frac{1}{18}$ d'air. En tournant la manivelle avec des vitesses sensiblement les mêmes, il a obtenu dans les deux cas les mêmes résultats.

En opérant avec de l'hydrogène parfaitement pur, les effets ont encore été semblables; il en a conclu dès lors, contrairement à ce que Wollaston avait annoncé, et conformément à ce que M. Gay-Lussac avait observé, que, dans la production de l'électricité par frottement, l'action de l'air sur les enduits, plus ou moins oxidables des frottoirs, ne paraît exercer aucune influence sur les effets électriques qui en résultent.

Cette conclusion qui nous paraît rigoureuse pouvait être tirée immédiatement des expériences de Gray, qui a démontré que le frottement dégageait de l'électricité dans le vide comme dans l'air.

Harris a fait une expérience, dont il sera question plus loin, et qui confirme les observations de Hauskbée et de Gray à ce sujet.

L'expérience suivante que j'ai faite, dans le but d'étudier cette question, confirme aussi les résultats ci-dessus :

Sur une platine portative pouvant s'adapter à une machine pneumatique, on fixe un petit électroscope à feuilles d'or (fig. 3), dont la tige métallique est fixée, à sa partie supérieure, à une feuille de métal très-mince, sur laquelle est assujettie une lame de verre également très-mince. Ce petit appareil est recouvert d'une cloche ayant à sa partie supérieure une tubulure munie d'une boîte à cuir, dans laquelle passe une tige verticale en laiton, à l'extrémité inférieure de laquelle est placé un petit tampon de peau, recouvert d'or massif ou de différents enduits excitants. En abaissant la tige suffisamment, on met en contact le tampon avec le verre, et l'on peut alors exercer le frottement. En retirant la tige, la lame métallique se trouve électrisée négativement; la lame de verre avec cette lame forme un petit tableau magique; les deux feuilles d'or divergent en vertu de l'électricité devenue libre. En faisant le vide à un millimètre, on trouve constamment de l'électricité qui, loin de se dissiper, en raison de l'extrême raréfaction de l'air, reste pendant un temps assez considérable, quand les vapeurs aqueuses de l'intérieur de la cloche ont été enlevées avec du chlorure de calcium. Dans une expérience, j'ai trouvé encore de l'électricité libre au bout de deux jours. Doit-on admettre que la très-petite quantité d'air contenue dans le vase est capable, par la résistance qu'elle oppose, de retenir l'électricité sur la surface des feuilles d'or, ou bien que le vide peut servir à isoler parfaitement des quantités d'électricité qui ne dépassent pas une certaine limite? C'est ce que nous examinerons plus loin.

CHAPITRE V.

DESCRIPTION D'APPAREILS DESTINÉS À MESURER LES PHÉNOMÈNES D'ATTRACTION ET DE RÉPULSION ÉLECTRIQUES.

1351. M. Harris a imaginé divers appareils qui lui ont servi à déterminer les lois de phénomènes électriques non encore étudiés, et dont je vais donner la description. Le premier de ces appareils est un électroscope A (fig. 4), composé des parties suivantes : un petit anneau elliptique de métal *a* est attaché obliquement à une tige de cuivre *ab*, isolée et traversant une boule de bois *n*. Deux autres petites tiges de cuivre *r r* sont fixées verticalement aux extrémités du grand diamètre de l'anneau. Dans la direction du plus petit diamètre, au milieu de l'anneau, se trouve un axe suspendu délicatement sur des pointes extrêmement fines. A cet axe sont adaptés deux brins de paille terminés par de petites balles de moelle de sureau. Ces deux petites pailles, qui servent d'index, jouissent d'une grande mobilité. Un cercle divisé en *r r* indique les déviations. Cet appareil est isolé sur une grande tige de verre A. Toutes les fois que l'on communique à la balle *b* une charge électrique, les pailles s'écartent. Cet instrument, au besoin, peut être placé dans une position verticale, horizontale ou autre, au moyen d'un genou placé en *m*.

1352. B (fig. 5) représente un électromètre qui mesure directement la force attractive d'un corps électrisé sur un corps quelconque, estimée en poids d'après les dégrés indiqués sur l'arc gradué *yx* : un conducteur isolé

f est fixé sur un tube de verre verni *fg*, lequel peut s'élever ou s'abaisser au moyen d'une vis de micromètre *s*. Un conducteur mobile et semblable *m* en bois léger, creusé et doré, est suspendu au-dessus du conducteur *f*, par l'intermédiaire d'un fil d'argent très-fin qui passe dans une petite roue de cuivre *w*. Le conducteur *m* a pour contre-poids un petit cylindre de bois *pn* (fig. 5 et 6) qui plonge dans l'eau.

Les extrémités de l'axe de la roue tournent sur des pivots très-fins et reposent sur deux grandes roues mobiles, comme on le voit figure 7, ce qui leur donne une grande liberté de mouvement. Un index *wc* indique sur l'arc gradué *yx* la force développée entre les conducteurs *m*, *f*. Le poids de cet index est connu. Le centre de la roue *v* est le même que celui de l'arc *xy*. Les diverses roues, ainsi que l'arc gradué, sont soutenus par une plaque métallique avancée qui est fixée à une tige métallique passant à travers une colonne de verre B; la figure 5 indique les divers accessoires de cet appareil et la manière dont ils sont disposés.

Le poids du conducteur *m* fait bien équilibre au contre-poids *n*, mais le système peut être mis en mouvement au moyen d'une force excessivement faible. On peut donc approcher ou éloigner à volonté *m* de *f*. Le mouvement est promptement arrêté au moyen du contre-poids *n* qui plonge dans l'eau; la force peut être évaluée en degrés ou en poids: en effet, si un poids quelconque avance l'index de 5° dans une direction, le double du poids l'avancera de 10°, et ainsi de suite.

1353. Quand on veut se servir de cet appareil, on communique au conducteur *f* une charge d'électricité, puis le conducteur *m* est mis en communication avec la terre, ou bien avec la partie négative de la bouteille ou de la batterie qui a servi à donner une charge à *f*.

Si l'on veut observer les effets de la force répulsive, on met en communication le conducteur *f* avec une source d'électricité quelconque, puis on fait descendre *m* jusqu'à ce qu'il touche *f*.

La distance entre les conducteurs m, f correspond à une force donnée. On la trouve au moyen des degrés indiqués sur l'arc xy. Chaque degré correspond, dans l'appareil de M. Harris, à une variation de distance entre les conducteurs égale à $\frac{1}{10}$ de pouce. D'après cela, si, en commençant les expériences, on a mis en contact m et f, l'index étant à zéro, et que l'on abaisse le conducteur f à une distance donnée, que l'on peut déterminer au moyen de la vis du micromètre s, rien n'est plus simple ensuite que de déterminer les autres distances en f et m.

Je ne dois pas oublier de dire que le contre-poids n est muni d'une petite coupe hémisphérique p, destinée à recevoir les poids nécessaires pour les expériences.

Les conducteurs m, f sont des plans circulaires d'environ 2 pouces de diamètre, soutenus par de petits cônes. On emploie, au besoin, pour conducteurs des sphères et des cylindres.

Avec cet appareil, lorsque les isolements sont parfaits et que l'atmosphère est bien sèche, l'index donne immédiatement la résultante des forces attractives.

1354. Pour rapporter les charges à une unité de mesure, on part de ce principe, que, dans une bouteille de Leyde, la quantité accumulée sur une surface est proportionnelle à la quantité cédée par l'autre dans la charge. D'après cela, au lieu de transmettre immédiatement l'électricité dégagée de la machine au moyen de son conducteur, on peut communiquer la charge de la surface extérieure d'une petite bouteille de Leyde, et évaluer très-exactement la quantité accumulée par le nombre d'explosions. En effet :

Supposons que l'on renverse une petite bouteille de Leyde K (fig. 8), de manière à mettre l'armure intérieure en communication avec le conducteur d'une machine électrique, et l'armure extérieure, par l'intermédiaire de la balle b, également en communication avec la batterie à charger. Supposons encore qu'on ait placé deux petites balles n et n' en relation avec les deux mêmes armures à une distance telle, qu'il y ait une décharge à un

certain instant. Il est bien évident que chaque décharge indiquera une accumulation d'une même quantité d'électricité dans la batterie; attendu qu'elle ne peut avoir lieu, chaque fois, la distance *n n'* étant constante, que lorsque la tension de l'électricité est arrivée au même point.

On peut, si on le veut, transporter à de simples conducteurs, des quantités comparatives d'électricité en tirant des étincelles d'une bouteille isolée D (figure 9), chargée, comme il vient d'être dit. Les charges peuvent être prises immédiatement sur le conducteur ou sur une plaque de transport isolée (fig. 10), dont la surface est connue, et transmises ensuite au conducteur *a* (fig. 5). M. Harris a fait avec ces appareils un certain nombre d'expériences dont voici les principaux résultats :

1355. Une quantité donnée d'électricité, partagée entre deux conducteurs parfaitement égaux, ne développe sur des corps étrangers que le quart de la force attractive qui se distribue dans l'un d'eux.

Lorsque cette quantité est partagée entre trois conducteurs semblables, la force dans l'un d'eux n'est que la neuvième partie de celle que l'on trouve distribuée dans un seul; c'est-à-dire que la quantité étant constante, la force est en raison inverse du carré de la surface; ou, la surface étant constante, en raison directe de la quantité. Voici comment M. Harris a mis ces lois en évidence :

On prend trois conducteurs semblables et égaux *a*, *b*, *c* (fig. 11), de forme cylindrique et bien isolés; on communique à l'un d'eux une quantité donnée d'électricité, et l'on mesure la force attractive au moyen de l'électromètre (fig. 5). Cela fait, on enlève l'électricité à ce cylindre et on lui en communique une égale quantité; après quoi on lui en fait toucher un autre pour diviser la charge; on trouve que la force attractive ne s'élève qu'au quart de la force primitive, et ainsi de suite.

TABLEAU DES EXPÉRIENCES.

Quantité comparative.	Force en dégrés.	Distance des surfaces d'attraction.	Force à la distance d'un pouce.	Force calculée.
1	30°	1	30 » —	29,70
1/2	5 —	1,25	7 8 —	7,44
1/3	2 +	1,28	3 27 +	3,72
1/4	1 +	1,29	1 8 +	1,86

Les différences entre les résultats de l'expérience et les résultats donnés par le calcul sont dans la limite des erreurs que l'on peut commettre dans des expériences de cette nature. Les mêmes lois ont été vérifiées avec une balance particulière N (fig. 12) dont voici la description : Cette balance est suspendue à un levier de cuivre recourbé *n b*, qu'on peut élever ou abaisser, au moyen d'une vis de micromètre *h*, ou du tube gradué *n o* qui glisse à l'intérieur. Un corps conducteur *m* est suspendu par un double fil d'argent à l'une des extrémités de ce fil. Ce corps, qui est en bois creux et doré, a pour contre-poids des poids placés dans le plateau de balance *t*. La figure indique les autres accessoires de l'appareil, dont plusieurs sont semblables à ceux de l'appareil fig. 5.

Lorsque le conducteur *m'* est en communication avec l'intérieur d'une bouteille de Leyde E, et le conducteur suspendu *m* avec la garniture extérieure, il y a aussitôt attraction entre les corps *m* et *m'*, laquelle peut être mesurée au moyen des poids placés dans le plateau *t*. La distance entre les points les plus rapprochés des conducteurs *m* et *m'* est évaluée au moyen d'un tube gradué et de la vis de micromètre *h*. Pour opérer avec cet appareil, M. Harris a pris une bouteille de Leyde E qui présentait une surface d'environ 5 pieds carrés, et il l'a mise en communication avec le mesureur *u*. On savait auparavant que le nombre des charges correspondait à

une accumulation dont la force attractive, agissant entre les deux surfaces *m* et *m'*, équivalait à une force de 4, 5 grains.

En doublant la quantité d'électricité accumulée, la force s'élevait à 18 grains. Si on la triplait, l'accumulation balançait une force de 40,5 grains, et ainsi de suite. Ces résultats sont absolument semblables à ceux qu'on avait obtenus par l'autre procédé.

1356. M. Harris a fait diverses expériences pour déterminer les circonstances qui influent sur les attractions et répulsions électriques entre des corps électrisés et d'autres qui ne le sont pas; je me bornerai à donner ici un résultat qui confirme les observations d'Hauksbée et d'autres physiciens (1346).

Une boule de cuivre *b* (fig. 13), d'environ deux pouces de diamètre, ayant été fixée à l'extrémité d'une tige de métal isolée, et placée au centre d'une grande cloche, fut mise en communication avec un électroscope A, au moyen d'une autre tige; puis on donna à cette boule une quantité d'électricité telle, que la déviation de l'électroscope fut de 40°. Cette divergence se maintint quand on enleva les $\frac{59}{60}$ de l'air de la cloche; mais si l'on approchait de la boule *b* une autre boule semblable *b'*, non électrisée, au moyen d'une tige glissante, l'électroscope commençait à baisser et s'écartait de nouveau dès l'instant que l'on retirait *b'*.

Un électroscope à feuilles d'or (fig. 14), renfermé dans une cloche de verre de laquelle l'air ne pouvait sortir, ayant été placé sur une tige isolante, puis recouvert d'une grande cloche, la divergence n'éprouva non plus aucun changement, quand on retirait les $\frac{69}{70}$ de l'air; en approchant une balle isolée *n*, les feuilles se rapprochaient graduellement pour s'écarter de nouveau quand on la retirait.

Ces expériences nous montrent que puisque les particules de l'air peuvent être enlevées, sans que l'électroscope indique un changement sensible, tandis que la divergence décroît à l'instant où l'on approche un corps

électrisé et se rétablit quand on le retire, il faut que l'influence de l'air ne modifie pas d'une manière appréciable l'action répulsive des deux électricités quand leur tension ne dépasse pas une certaine limite, et que la modification que cette action éprouve, par l'approche d'un corps non électrisé, soit produite par des causes qui sont en rapport avec ces corps.

CHAPITRE VI.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES DE M. HARRIS SUR LES LOIS FONDAMENTALES DES ACTIONS ÉLECTRIQUES.

§ Ier. *Description des appareils.*

1357. J'ai exposé avec de grands développements dans le second volume (90, etc.) les recherches expérimentales de Coulomb, pour la détermination des lois élémentaires de l'électricité, ainsi que les travaux analytiques de M. Poisson relatifs à la distribution de l'électricité sur la surface des corps. L'accord parfait qui existe entre les résultats de l'expérience et les déductions de l'analyse est tel qu'il est admis aujourd'hui par tous les physiciens que l'on ne peut rien ajouter aux grandes découvertes de Coulomb, touchant les lois de l'action à distance, que des faits de détail qui ne peuvent les infirmer en rien.

Cependant, depuis quelques années on a commencé à attaquer quelques-unes de ces lois; je citerai particulièrement M. Harris, qui a entrepris une série de recherches dans le but de montrer qu'elles n'ont pas la généralité qu'on leur accorde (1). Quelque prévenu que l'on soit contre un travail de cette nature, comme il repose sur des expériences et par conséquent sur des faits, j'ai pensé qu'il était de mon devoir de les exposer ici,

(1) Trans. philos. 1836.

afin que les physiciens puissent les discuter et voir jusqu'à quel point les conséquences qu'on en tire sont fondées.

Je dois faire observer néanmoins que M. Harris, tout en reconnaissant que les résultats qu'il a obtenus sont quelquefois en plein désaccord avec les grandes découvertes de Coulomb, avoue cependant qu'ils peuvent y rentrer, si l'on a égard aux phénomènes d'induction qui ont lieu à de petites distances entre deux corps électrisés; au surplus, il désire et provoque même une discussion des résultats qu'il a obtenus, disposé qu'il est à accueillir favorablement les observations qu'on pourra lui adresser à ce sujet. Tout en payant un tribut d'hommages aux physiciens qui ont illustré la partie de l'électricité qu'il explore de nouveau, il ajoute qu'en rendant compte de faits déduits de l'expérience et de l'induction, son but a été uniquement d'étendre le cercle de nos connaissances, sans chercher à renverser, uniquement par esprit de système, des théories solidement établies.

M. Harris a reconnu que la balance de torsion qui a rendu de si grands services à la science, était d'un usage un peu difficile, et présentait quelque inconvénient dans l'emploi d'un fil de métal, dont l'élasticité n'est jamais parfaite; c'est pour y remédier qu'il a construit une nouvelle espèce de balance appelée balance *bifil*, à cause des deux fils dont on fait usage au lieu d'un seul. La force de réaction de cet instrument ne provient d'aucun principe d'élasticité, comme dans la balance de torsion, mais bien de la pesanteur. Je vais essayer d'en donner une description aussi succincte qu'il me sera possible.

1358. Lorsqu'une aiguille $m\,n$ (fig. 15) est suspendue à deux fils de soie non tordus $a\,b\,a'\,b'$, placés parallèlement l'un à l'autre, à égale distance des centres c, c', et fixés aux points $a\,a'$, elle est dans sa position d'équilibre quand elle est horizontale dans le plan vertical passant par les deux fils. Au moyen de cette disposition en tournant l'aiguille autour de l'axe imaginaire $c\,c'$, les lignes de suspension se dévient de la verticale, et la dis-

tance $c'c'$ devient moindre. On a donc une force de réaction provenant du poids de l'aiguille, laquelle est transmise, pour ainsi dire, aux points de suspension, puisque le centre de gravité de la masse s'élève et tend sans cesse à revenir dans sa position première, et se trouve dans une position semblable à celle d'un corps qui tombe suivant un très-petit arc circulaire. D'après cela, si l'on fait osciller l'aiguille et qu'on observe les effets produits, on peut déterminer, au moyen des formules relatives aux corps oscillants, la nature de la force qui produit les oscillations.

1359. Voici les accessoires de la balance bifile : un cylindre de bois P (fig. 16), de 2 pouces de hauteur, et de 2 pouces de diamètre, est suspendu à deux fils de soie de cocon ab, $a'b'$; un index fixé au cylindre indique sur un cadran gradué ig la durée et l'étendue des oscillations. Les fils ab, $a'b'$ sont suspendus dans un châssis convenable $sdes$ (fig. 17), soutenu par une base solide A B, élevée sur des vis à niveau; chaque fil, après son passage dans de petits trous pratiqués dans la barre mobile rr', est joint au-dessus à un gros bout de soie se continuant par des trous dans la barre fixe de, et s'attachant enfin à des chevilles régulatrices en d et e. Au moyen de cette disposition, les fils ab, $a'b'$ sont mis promptement en place, comme dans la fig. 16. En changeant de position la barre rr' (fig. 17), on fait varier les fils de longueur. Des trous successifs en rr' correspondant à d'autres points placés à des distances égales, permettent de varier les distances respectives des fils.

Le centre du cylindre c (fig. 16 et 17) étant suspendu au-dessus du centre du cercle gradué ig, on intercale entre les fils, à des distances données, des arrêts s' s'' s''', en roseau ou en liége, afin d'empêcher leur contact; l'index étant tourné d'un angle de 60°, le poids P oscille, et on note avec soin le temps d'une oscillation.

Voici les résultats obtenus : 1° Le temps d'une oscillation est comme la racine carrée de la longueur

des fils de suspension, divisée par leur distance respective, et est tout à fait indépendant du poids du corps oscillant.

2° Les oscillations sont isochrones pour tous les angles. A l'aide de ces résultats et de la formule

$$n = \frac{P \pi^2 a^2}{2 g T^2}$$

employée par Coulomb dans ses expériences pour la torsion des fils, on peut en déduire facilement les lois de la force de réaction communiquée au fil. Dans cette formule, n représente la force perpendiculaire appliquée à l'extrémité d'un bras de levier, pour résister à la force de réaction communiquée au fil, quand le cylindre c (fig. 16 et 17) est tourné autour de son axe, de manière à lui faire décrire un arc de 60°; l'unité de la force perpendiculaire est égale à un grain; l'unité du bras de levier est égale un pouce; P est le poids du cylindre c, exprimé en fonction de l'unité de poids; a son rayon; g la force de la pesanteur; T le temps d'une oscillation exprimé en secondes, π le rapport de la circonférence au diamètre. En appliquant cette formule, on trouve que la valeur de n varie avec le carré de la distance entre les fils d'oscillation, divisé par leur longueur, et est proportionnelle au poids du cylindre P; de sorte que l'on a

$$n = \frac{P\, d^2}{l}.$$

Et comme l'expérience prouve que les oscillations du cylindre sont isochrones pour tous les angles, il s'ensuit que n est proportionnel à l'angle de déviation des fils.

Ces résultats ont été vérifiés par l'expérience. Les tableaux suivants renferment quelques-uns des nombreux résultats obtenus par M. Harris :

Unité de temps = une seconde.
Unité de poids = 1 grain.
Unité de longueur = 1 pouce.
Poids du cylindre = 960 grains.

TABLEAU I.

LONGUEUR.	DISTANCE.	OSCILLATION en 60″.	TEMPS de 10 oscillations par observation.	TEMPS d'une oscillation.
6	.... 0,25	.... 28,50	..... 21	 2,1
24		.... 14,25	..... 42	 4,2
6		.... 46	.... 13,1	 1,31
12	.... 0,4	.... 32,50	.... 18,5	 1,85
24		.... 23	.... 26,2	 2,62
24	.... 0,8	.... 46	.... 13,1	 1,31

Des résultats semblables ont été obtenus en augmentant l'angle d'oscillation jusqu'à 180° et au-dessus, et en faisant varier le poids du cylindre P de 960 gr. à 480 gr., et même à 240 gr., le rayon étant toujours le même. Le temps d'une oscillation a été compté avec un bon chronomètre.

Les résultats suivants donnent le poids en grains nécessaire pour résister à la force de réaction des fils, pour un angle de 60° : la longueur de ces fils et leur distance respective variant ainsi que la hauteur du cylindre.

TABLEAU II.

LONGUEUR.	DISTANCE.	p = 960 grains.	P = 480 grains.	P = 240 grains.
		Poids en grains sur un levier de 1 pouce.		
6	..... 0,25	.... 2,675 ...	.... 1,325	 0,66
24		.... 0,67 + ...	.... 0,325	 0,15
6		..... 7 + ...	.... 3,525	 1,75
12	..... 0,4	..... 3,55	.... 1,775	 0,885
24		..... 1,75	.... 0,875	 0,425
24	..... 0,8	..... 6,85	.... 3,425	.... 1,750.

Le tableau suivant donne le poids en grains, déterminé par le calcul et l'expérience, qui est nécessaire pour balancer la force de réaction des fils à divers angles de déviation de 0 à 300°; les fils ayant 24 pouces de long et étant placés à pouce 0,25 de distance, et le poids du cylindre étant de 960 gr.

TABLEAU III.

ANGLE de déviation.	10	20	30	60	90	100	120	150	180	200	240	270	300
FORCE déterminée par la formule.	0,115	0,23	0,34	0,69	1,03	1,15	1,38	1,72	2,07	2,3	2,76	3,1	3,45
FORCE déterminée par l'expérience.	0,11 +	0,22	0,34 —	0,67 +	1	1,1	1,35	1,7	2	2,25	2,725	3 +	3,425

L'accord qui règne entre les résultats de l'expérience et les déductions du calcul prouve l'exactitude de la formule précédemment établie.

Pour faire ces expériences, on a employé une petite poulie p (fig. 17) extrêmement mobile, un plateau f qui pesait 1 grain et qui était suspendu à un fil de cocon; le $\frac{1}{10}$ d'un grain affectait l'index.

1360. Au moyen de ces préliminaires on concevra facilement la description et l'usage de l'électromètre (fig. 18) : a'' d est une cage cubique formée de quatre grands carreaux de verre, disposés comme l'indique la figure.

Une aiguille isolante de verre $m\,n$ (fig. 18 et 19), de 10 pouces de longueur, est suspendue dans la cage à deux fils de cocon, de la manière indiquée précédemment. Elle est en relation avec un index νw, au moyen d'une tige verticale $\sigma\,\sigma'$ fixée à son centre. Cet index, qui a environ 9 pouces de long, est placé à angles droits avec la direction de l'aiguille; et, en tournant autour du cercle divisé $\nu\,h'\,\nu'$, elle fait connaître les déviations de l'aiguille.

Un petit disque *n* formé d'une lame d'or, de 0,4 de diamètre et de 0,05 de pouce d'épaisseur, avec les bords polis, est fixé à une des extrémités de l'aiguille, et un petit disque *m* de verre, de même dimension et recouvert d'une couche de vernis, à l'autre extrémité. L'aiguille est d'une nature tellement isolante que le disque de métal conserve longtemps l'électricité qu'on lui communique.

La tige verticale de cuivre *o u*, qui supporte l'index *v w*, a une longueur d'environ 4 $\frac{1}{2}$ pouces et 0,25 de diamètre.

L'aiguille *m n* avec son index et ses accessoires est suspendue au faible châssis *a x d'* (fig. 18).

L'index *v w* est formé de deux morceaux de paille insérés l'un dans l'autre, et fixés au bout d'un fil court de cuivre, d'environ 2 pouces de long, passé dans la tige *o u*, à environ 4 $\frac{1}{2}$ pouces au-dessous de l'aiguille, de manière à la dépasser d'environ $\frac{1}{2}$ pouce. Immédiatement au-dessus de l'index se trouve une lamelle de cuivre adaptée à la tige au moyen d'un tube et destinée à recevoir de petits poids circulaires, au moyen desquels on peut augmenter la force de réaction des fils. Le poids de l'aiguille avec son index et ses accessoires est d'environ 480 grains.

L'extrémité inférieure de la tige de l'index en *u* présente un trou conique qui permet au système de jouer librement sur un pivot central fixé à l'extrémité d'une tige cylindrique *u z*.

A peu de distance du point central *z* se trouvent deux autres tiges de cuivre *e e'* fixées à la base de la cage, portant, l'une, une baguette recourbée *y w* qui est fixée au moyen d'un petit rond de bois, et se termine en une fourchette *w* d'environ 0,5 de pouce de large : un des bras de l'index *v w* peut, quand on élève ou que l'on abaisse la tige, passer au milieu de cette fourchette, et être arrêté dans ses oscillations. L'autre tige *e'* est munie également d'une tige recourbée *e' w'*, au moyen de laquelle on peut agir sur l'autre bras de l'index et maîtri-

ser également les oscillations de l'aiguille. Deux autres tiges $\pi\pi'$ (fig. 18), qui passent avec frottement à travers la base de la cage, supportent deux petites feuilles métalliques fixées temporairement aux extrémités des tiges. Un disque isolé p, ou un disque de verre isolé et recouvert, est suspendu dans la cage. Ces disques sont semblables à ceux de l'aiguille mn. Outre les disques mn et p, on peut placer à volonté dans la cage d'autres petits plans d'épreuves isolées.

Sur la partie supérieure a'' l de la cage se trouve un cercle divisé A T I d'environ treize pouces de diamètre. Ce cercle a deux parties en croix tt' A I (fig. 18 et 19), à l'intersection desquelles se trouve un grand trou M (fig. 19) destiné à recevoir le pivot creux vertical p (fig. 18 et 20), au moyen duquel on peut faire tourner le cercle autour de son centre. La quantité angulaire, dont le cercle est tourné, est indiquée par un petit index courbé, placé en I (fig. 18).

Afin d'apprécier la quantité angulaire dont on tourne la plaque supérieure, on place un cercle gradué if, (fig. 18 et 20), de 6 pouces de diamètre, au-dessus du cercle A I. Le cercle gradué if est muni d'un index x qui indique la quantité angulaire dont la plaque mobile a été tournée, et par conséquent le *quantum* de la force de la déviation imprimée à l'aiguille mn par les fils de suspension.

1361. Lorsque l'on veut se servir de cet instrument comme de balance de torsion, l'aiguille munie de son index est suspendue à un fil métallique, comme on le voit fig. 21. Afin d'équilibrer l'aiguille, quand cela est nécessaire, les deux cylindres glissants b, b' sont munis de crochets de suspension, tournés en dessous. Cette suspension permet de suspendre aux crochets des petits poids ww' et de les placer à des distances respectives du centre, telles qu'elles puissent maintenir l'aiguille mn dans une position horizontale. Cet instrument, au moyen d'un micromètre en x, est une balance de torsion très-complète, qui possède plusieurs avantages importants, entre autres

de pouvoir augmenter ou diminuer de sensibilité en changeant la longueur du fil, la force de sa réaction étant, comme on le sait, dans un simple rapport inverse avec sa longueur.

L'expérience prouve que la force de réaction obtenue avec deux fils de soie parallèles est plus exacte, dans un grand nombre de cas, que la force élastique de torsion d'un fil métallique. La déviation des fils de la verticale peut être extrêmement faible; la déviation angulaire de l'aiguille excède rarement 90°, quoiqu'en augmentant le nombre des attaches s' s'' on puisse lui faire parcourir le cercle entier.

Je dois faire remarquer que dans cet appareil comme dans la balance de torsion, on peut commettre de graves erreurs, avec de grands arcs, en prenant l'arc lui-même comme la mesure de la distance entre les corps opposés p, n (fig. 18), et la longueur du levier à l'extrémité duquel la force agit comme égale au rayon ou à la moitié de la longueur de l'aiguille. Mais M. Harris a trouvé qu'ici les erreurs se balancent à peu près: un des facteurs du momentum de la force étant le cosinus de la moitié de l'angle, et par conséquent moindre que le rayon sur lequel agit la répulsion, tandis que l'arc pris pour mesurer la distance est toujours plus grand que sa corde ou la distance réelle. Au moyen de cette balance, la force de réaction que possèdent les fils de suspension, peut varier dans une position quelconque, soit en changeant la position de la base glissante rr', qui change leur longueur, ou en variant leur distance réciproque, etc. On peut obtenir une force $\frac{1}{20000}$ de grain pour chaque degré, et même $\frac{1}{50000}$.

§ II. *Usage de la balance bifile.*

1362. La balance bifile peut servir à rechercher les lois de la force répulsive développée entre les corps isolés p m (fig. 18 et 19), en faisant varier la distance, l'intensité de la charge et autres conditions. Je ne puis

entrer ici, en raison de leur étendue, dans tous les détails des expériences faites à ce sujet.

Dans les recherches relatives aux lois des actions électriques, avec cet instrument ou la balance de torsion, il faut avoir égard à plusieurs considérations que Coulomb n'a pas négligées non plus.

Lorsqu'une expérience dure un certain temps, les corps électrisés perdent une partie de leur électricité; pour remédier à cet inconvénient, on évalue, comme l'a fait Coulomb, la quantité d'électricité perdue, et on corrige en conséquence les résultats. Cette opération présente quelquefois des difficultés, en raison des diverses circonstances dont il faut tenir compte; mais M. Harris pense qu'il vaut mieux choisir pour l'expérience une saison favorable et opérer dans une chambre sèche, doucement chauffée par un poêle; en opérant avec ces conditions, il a été étonné de voir combien les corps conservent longtemps leur électricité.

D'un autre côté les corps isolants n'isolent toujours qu'imparfaitement et peuvent même s'électriser; pour éviter cet inconvénient, on les expose à l'influence de petits morceaux de fer chauffés au delà du rouge; on enlève par ce moyen l'électricité qui adhère à leur surface.

1363. Arrivons maintenant aux expériences :

D'après Coulomb, l'action produite entre deux corps électrisés et isolés est directement comme la quantité d'électricité possédée par chacun d'eux et en raison inverse du carré de la distance; ainsi la force totale à une distance D est représentée par $\frac{F}{D^2}$ ou par $\frac{RR'}{D^2}$ en représentant par R et R' la force de chaque corps. Cette expression $\frac{RR'}{D^2}$, suivant M. Harris, coïncide dans plusieurs cas avec les résultats de l'expérience; mais elle ne peut être considérée comme une loi générale, attendu les exceptions que l'on trouve quelquefois; d'après cela et contrairement à l'opinion générale, la loi de Coulomb n'au-

rait pas la généralité qu'on lui a reconnue jusqu'ici. Laissons parler maintenant l'expérience avant d'en rien conclure :

Les résultats consignés dans le tableau suivant ont été obtenus dans une série d'expériences faites lorsque les disques électrisés *p m* (fig. 18) étaient placés dans une atmosphère parfaitement isolante, à diverses distances l'un de l'autre et chargés de quantités égales ou inégales d'électricité. Les charges relatives ont été obtenues avec le plan d'épreuve de Coulomb. On a pris pour unité de charge la quantité d'électricité nécessaire pour produire une répulsion de 24°, quand elle était partagée également entre les deux disques ; la puissance réactive de l'instrument était environ de $\frac{1}{1500}$ de grain pour chaque degré ; la longueur des fils de suspension était de 20 pouces, et leur distance mutuelle de 0,25 de pouce.

DISTANCES.		FORCES avec des charges également réduites.			FORCES avec des charges réduites et inégales.					
Degrés.	Rapport de distance.	1 : 1	$\frac{1}{2} : \frac{1}{2}$	$\frac{1}{4} : \frac{1}{4}$	1 : $\frac{1}{2}$	1 : $\frac{1}{4}$	1 : $\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2} : \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2} : \frac{1}{8}$	$\frac{1}{4} : \frac{1}{8}$
2	1/12 ..	....	.....	46....	.....	Attractive	Attractive	.....	Attractive	
3	1/8 ...	....	.....	36....	.....	62.....	30.....	55....	29.....	16
6	1/4 ...	....	85....	18....	94...	46.....	22.....	30....	16.....	8
9	3/8 ...	125.	42....	8 + .	70...	34.....	16 — ...	14....	8.....	4,5
12	1/2 ...	94..	23....	4,5 ..	47...	23	10 + ...	8 + .	5 — ..	2 +
18	3/4 ...	44..	10,5 ..	2 + .	20...	10.....	5.....	3 + .	2.....	
24	1	24..	6....	1 + .	12...	6.....	3.....	2....	1 + ...	
48	2	6..	1,5 ..	.....	3...	1,5	.....	.....	.....	
72	3	3..	.....	.....	1 +	.....	.....	.....	.....	
D	R	A	B	C	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*

De ces résultats M. Harris tire les conséquences suivantes :

1° Dans les colonnes A, B, les disques étant chargés également et avec une intensité donnée, les forces va-

rient (à une ou deux exceptions près) dans un rapport inverse des carrés des distances respectives.

Dans la colonne A, il n'y a qu'une exception : elle a lieu à la distance de 9 degrés. Lorsque l'on commence à diminuer la quantité d'électricité fournie à l'un des disques, ou à les charger inégalement, cette loi n'est apparente que jusqu'à une certaine limite ; en effet, à la distance de 12° et 6° dans les colonnes *a*, *b*, *c*, comme aussi à 12° et 9° dans la colonne A et de 6° et 9° dans la colonne C, la loi est dans un rapport inverse de la simple distance, ou à peu près, tandis que, dans de certaines limites, et à d'autres distances, la loi de la force devient irrégulière et paraît troublée par quelque influence étrangère. Des résultats semblables sont plus ou moins apparents dans toutes les colonnes où les quantités d'électricité des corps sont inégales.

2° Les infractions à la loi de Coulomb sont plus apparentes et plus décidées, quand les forces sont plus faibles, l'inégalité des charges respectives plus grande et la distance moindre. Dans ces diverses conditions, l'accroissement d'action des forces répulsives diminue, et la répulsion incline vers l'attraction, qui finit par l'emporter.

3° Les quantités d'électricité contenues dans l'un ou l'autre des corps ne sont pas toujours proportionnelles aux forces répulsives. Ainsi, dans les colonnes *B*, *d*, les quantités respectives sur un des corps sont comme deux est à un, la quantité de l'autre restant égale à $\frac{1}{2}$; tandis que les forces répulsives sont presque comme trois est à un, ou approchent beaucoup de ce rapport. La même chose se voit dans les colonnes *b*, *d*, où les quantités sont dans les proportions de $1 : \frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2} : \frac{1}{4}$. On observe aussi dans les colonnes B et C que les quantités respectives sont comme 2 : 1, sur chacun des disques ; tandis que les forces correspondantes ne sont pas :: 4 : 1, mais à peu près comme 5 : 1. Ces résultats sont, il faut l'avouer, en plein désaccord avec les grandes lois fondamentales découvertes par Coulomb. Cependant elles peuvent y rentrer si l'on a égard aux phénomènes d'induction qui ont lieu à de petites distances, entre deux

corps électrisés; phénomènes qui doivent modifier les actions attractives et répulsives, et dont l'étude est d'une grande importance pour l'interprétation d'effets anomaux qui masquent les lois.

1364. M. Harris regarde comme évident que l'induction, entre deux corps électrisés de la même manière, peut se modifier indéfiniment, suivant diverses circonstances de quantité, d'intensité, de distance; d'où résultent des phénomènes en apparence complexes.

Voici encore des résultats qui tendent à mettre en évidence les modifications dont il est question :

Distance.	Force.	Distance.	Force.	Distance.	Force.	Distance.	Force.	Distance.	Force.	Distance.	Force.
4	18	4,5	110	10	65	13	78	17,5	117	20	150
8	8 +	9	54	20	20	26	26	35	35	26	90
.....	.....	18	18	.....	.....	.....	.....	.....	.....	40	40
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	52	23 +
A		B		C		D		E		F	

Interprétons maintenant ces résultats. On voit d'abord que dans la colonne A, où les intensités sont peu considérables et les distances petites, la force est comme $\frac{1}{d}$ ou à peu près; tandis que la colonne F, où les intensités sont considérables et les distances grandes, la force est sensiblement comme $\frac{1}{d^2}$; dans les autres colonnes BCDE, les forces sont presque dans le rapport de 3 : 1, quand les distances sont comme 2 : 1, excepté dans un cas (colonne B) où la force est à peu près comme $\frac{1}{d}$ lorsque les distances sont petites.

§ III. *Du plan d'épreuve et de ses indications.*

1365. M. Harris a examiné ensuite plusieurs ques-

tions fondamentales de la théorie de l'électricité statique; particulièrement celles qui sont relatives aux indications du plan d'épreuve, qui joue un si grand rôle dans les *Recherches expérimentales* de Coulomb.

Le plan d'épreuve destiné à faire connaître la tension de l'électricité en un point quelconque d'une surface électrisée, a été envisagé de deux manières différentes par les physiciens. M. Biot dit que ce plan, en s'assimilant avec un élément superficiel d'un corps électrisé, enlève autant d'électricité sur une des deux faces, qu'il en existe sur l'élément où on l'applique; en l'enlevant il est donc chargé d'une quantité double. D'un autre côté, M. Pouillet considère le plan d'épreuve comme étant à l'instant du contact dans le même état que l'élément superficiel de mêmes dimensions et dans les mêmes conditions électriques lorsqu'on l'enlève. L'électricité serait donc d'abord recueillie par une des faces seulement, et se répandrait ensuite sur l'autre; dès lors chaque face n'aurait que la moitié de la quantité que l'élément superficiel possédait d'abord.

Ces idées sur le plan d'épreuve sont loin d'être partagées par M. Harris, comme on va le voir; voici les faits qui lui ont servi à fixer les siennes relativement à ses indications :

Lorsqu'un plan d'épreuve isolé est plongé dans une sphère creuse, chargée d'électricité, il ne présente pas d'indication électrique quand on le retire; tandis qu'en touchant la surface extérieure, le corps isolé devient fortement électrique. C'est un fait sur l'exactitude duquel on ne saurait élever aucun doute.

D'un autre côté, Coulomb a trouvé, avec le plan d'épreuve, que lorsqu'on touche une sphère chargée avec une plaque circulaire isolée, dont l'une des surfaces est égale à la surface extérieure de la sphère, elle ne présente plus que le $\frac{1}{3}$ de la force de réaction qu'elle indiquait avant le contact; d'où l'on conclut que la quantité restante sur la sphère, après le contact, n'est que le tiers de celle qu'elle possédait auparavant, et que par

conséquent la charge s'est partagée entre la plaque et la sphère dans la proportion des surfaces. Pour voir jusqu'à quel point ces résultats étaient exacts, M. Harris a fait les expériences suivantes : il a pris deux sphères conductrices de 4 pouces de diamètre chacune *s s'*, et une plaque circulaire de 8 pouces P (fig. 22).

Ayant isolé et chargé la sphère *s*, ainsi que le disque de l'aiguille de la balance, avec la même électricité, il a cherché la réaction électrique au moyen d'un disque d'épreuve. L'aiguille de la balance a été repoussée à 22°, la force de réaction de l'instrument était égale à $\frac{1}{2000}$ de gr. par chaque degré. On a touché la sphère chargée avec la plaque isolée P, en observant ensuite la réaction électrique. Puis on a donné de nouveau la charge primitive à la sphère, de manière à obtenir encore une force de 22°, et on a répété l'expérience avec la seconde sphère isolée *s'*. Les résultats obtenus dans ces diverses expériences, et qui sont consignés dans le tableau suivant, montrent que les réactions électriques, après les contacts respectifs avec la plaque et la sphère dont les aires sont égales, au lieu d'être comme 2 : 1 selon la théorie, sont presque les mêmes, tandis que les forces correspondantes à 22° de distance, comparées avec la réaction de la charge primitive, sont presque comme 3 : 1.

RÉACTION avant le contact à 22° de distance.	RÉACTIONS APRÈS LE CONTACT.			
	RÉACTION à 14°.		RÉACTION à 22°.	
	Plaque.	Sphère.	Plaque.	Sphère.
22°	14° —	14° +	7°	8° —
A	B		C	

Dans la colonne A se trouve la force communiquée d'abord au plan d'épreuve; dans la colonne B, la force après les contacts successifs de la plaque et de la sphère; la colonne C contient la réaction à la distance primitive de 22°.

Ce résultat montre donc que la capacité d'une sphère est la même que celle d'un plan circulaire d'aire égale dans lequel on la suppose transformée.

1366. Ce fait a encore été vérifié de la manière suivante: Les disques *p m* de la balance (fig. 18 et 19) étant mis en contact, et l'une des sphères isolées *s* (fig. 22), mise en communication avec le disque fixe *p*, on a opéré une charge qui maintenait l'aiguille à la distance de 48°; puis on a touché la sphère *s* avec la plaque circulaire isolée P, et l'on a noté la nouvelle position de l'index à partir de zéro; le disque de l'aiguille a ensuite été touché avec un disque neutre semblable, de manière à réduire à moitié la quantité d'électricité qui y était contenue et à l'égaliser avec celle du disque fixé, en supposant que la plaque eût enlevé à la sphère une moitié de la charge. On a encore observé la nouvelle distance de l'index depuis *o;* et les deux disques ont été mis de nouveau en contact, de manière à égaliser plus complétement la distribution entre les disques, lors même qu'il existerait une différence. Les réactions électriques ont été observées à la distance primitive de 48°.

Cette opération a été répétée en substituant une sphère égale en surface à la plaque circulaire, ainsi qu'une sphère solide de même diamètre. Voici les résultats obtenus : $f_1 f_2 f_3$ représentent les réactions ci-dessus mentionnées, la réaction primitive à la distance de 48° étant indiquée par f 3. La force de réaction de l'influence est égale à $\frac{1}{2000}$; on a

RÉACTION à une distance de 48° avant le contact.	RÉACTIONS après le contact de la plaque.			RÉACTIONS après le contact de la sphère.			RÉACTIONS après le contact de la sphère solide.		
	f_1.	f_2.	f_3.	f_1.	f_2.	f_3.	f_1.	f_2.	f_3.
48°	39	22,5	12	38	23	12 +	39	23	12
N	a	b	M	a'	b'	M'	a''	b''	M''

Nous voyons que le résultat est presque toujours le même, après le contact avec la plaque et les sphères, soit en égalisant d'abord l'état électrique des disques, comme dans f_1, ou ensuite comme dans f_2, ou encore après l'égalisation comme dans f_3. Ces expériences ont été répétées avec l'électromètre (fig. 23) (1), et on a trouvé que, soit que l'on soumette une sphère électrisée au contact d'une plaque circulaire de rayon égal, ou au contact d'une sphère semblable, creuse ou solide, les forces d'attraction sont égales, et les quantités soustraites sont précisément la moitié de la quantité primitive dont la première était chargée, ou à peu près.

1367. Considérons maintenant le cas d'un disque isolé qui, étant plongé dans une sphère électrisée, ne possède aucune électricité en sortant. M. Harris considère ce fait comme peu concluant en faveur de la non existence de l'électricité à la surface intérieure, attendu que l'on peut démontrer par l'expérience qu'un corps isolé plongé dans de la laque électrisée ne peut enlever aucune électricité, lors même qu'il existerait une accumulation actuelle.

On prend une petite sphère de verre $a a'$ (fig. 24), bien sèche, à laquelle on a adapté en a' un goulot verni avec de la laque; on la remplit presque entièrement de mercure sec, et le tout est placé dans un vase $b b'$, con-

(1) Trans. philos., 1834, p. 215.

tenant assez de mercure pour que le verre en ait une couche extérieure et intérieure. On électrise ce système, et on enlève le fil de charge *d* au moyen d'un manche isolant, puis la sphère chargée *a' a;* on verse le mercure contenu dans la sphère; on a alors un corps sphérique sur la surface intérieure duquel il y a une forte accumulation d'électricité libre. Cette sphère étant touchée intérieurement avec un plan d'épreuve isolé ne donne à ce dernier aucune charge d'électricité, quoiqu'il existe à sa surface intérieure de l'électricité libre. Si le plan d'épreuve est fixé à une tige conductrice isolée, se projetant au delà de la sphère, l'électricité est mise alors en liberté, comme dans le cas où un corps conducteur est placé dans une sphère de métal chargé, peu importe que la sphère ait ou non une garniture extérieure. L'électricité serait donc partout à l'état libre à la surface intérieure, et pourrait facilement se communiquer à un corps capable de la recevoir; pour tirer cette induction M. Harris s'est-il mis en garde contre l'action par influence exercée par la surface extérieure sur la tige conductrice?

Soit maintenant *dd'* (fig. 25), une plaque circulaire de verre que l'on pose sur une plaque conductrice *c*, dont le diamètre est d'environ la moitié de celui du verre; on met une plaque semblable *c'* sur sa surface supérieure, et l'on charge cet appareil en communiquant de l'électricité à la plaque supérieure; on enlève les armatures, et le verre est placé sur un support isolant. Si l'on touche alors le côté chargé avec le plan d'épreuve, on enlève naturellement de l'électricité libre. M. Harris infère de là que l'expérience du plan d'épreuve ne prouve nullement la non existence de l'électricité à la surface intérieure d'une sphère chargée. Cette conclusion nous paraît peu rigoureuse; car nous ferons remarquer que la théorie admet, d'après un principe de Newton, que l'action d'une couche sphérique d'électricité sur un point placé dans l'intérieur de cette sphère est égale à zéro; M. Harris répond à cette objection que lors même que l'électricité existerait réellement à la surface intérieure de la sphère, elle ne pourrait être transmise à un corps entièrement placé

dans son intérieur. Ainsi, selon lui, l'expérience du plan d'épreuve ne peut décider la question de l'absence d'électricité à la surface d'une sphère électrisée. Cette question a besoin d'être examinée de nouveau par les physiciens.

1368. Nous sommes conduits naturellement à examiner sous quelles conditions un petit disque isolé peut enlever par le contact de l'électricité à un conducteur, puisque des indications d'un plan d'épreuve dépend toute l'évidence expérimentale de la théorie de la distribution de l'électricité dans des corps de diverses formes.

L'électricité libre enlevée par un plan d'épreuve à un corps chargé, peut non-seulement dépendre de la quantité existant actuellement au point où on l'applique, mais aussi de la force inductive réciproque dont les corps sont capables; car il pourrait se faire que les forces inductives ne fussent pas les mêmes en tous les points. D'après cela, le plan d'épreuve ne prendrait pas dans chaque situation une quantité d'électricité proportionnée à celle de l'élément de la surface sur lequel on l'appliquerait. L'expérience suivante montre qu'il se passe quelque chose de semblable dans le contact; en effet :

On prend trois plaques métalliques circulaires et pareilles p, p' p'' (fig. 26, 27, 28); deux d'entre elles, p' p'', sont creusées en segments sphériques; ces plaques sont isolées au moyen de supports; la convexité de p' est placée au-dessus, et celle de p'' en bas, et l'on charge ces conducteurs isolés avec la même quantité d'électricité. Les intensités respectives sont donc toutes égales. Maintenant si l'on applique successivement un plan d'épreuve sur ces corps, en différents points semblablement placés, et qu'on observe les réactions électriques respectives, on trouve que la plus grande réaction électrique s'obtient sur la convexité p', la moyenne sur le plan p, et la plus faible sur la convexité p''.

Or, si, dans ces expériences, les points p, p', p'' représentent la situation du plan d'épreuve, on verra que dans la cavité p' il est plus complétement enveloppé par les molécules électriques du corps chargé; sur le plan, il

l'est beaucoup moins; et enfin, sur la convexité du segment p', les particules électriques s'en écartent dans toutes les directions.

Il paraît résulter de là, que la position seule d'un point, relativement aux autres parties du corps chargé, peut exercer une influence sur la quantité qu'enlève le plan isolé; dès lors tout ce qui tend à augmenter l'action inductive du plan d'épreuve, rapproche les réactions électriques du rapport d'égalité; si donc l'on donne au plan d'épreuve une extension considérable dans le sens de son épaisseur, ou autrement en le tenant par un fil électrique isolé w (fig. 29), on augmente sa force d'induction, et les différences dans les réactions électiques avec une charge donnée, deviennent moindres.

Il suit de là qu'en employant un plan d'épreuve d'une sensibilité inductive parfaite, on arrive à l'égalité dans les réactions des trois corps ci-dessus mentionnés. On y parvient en expérimentant avec un plan d'épreuve formé d'un petit disque de verre, recouvert d'une couche de laque. Si un élément semblable est substitué à un disque isolé, il aura, après le contact des corps chargés p', p'', une réaction égale départie par chacun d'eux.

On peut encore, si l'on veut, étendre les limites du fil w (fig. 29); mais alors il faut pour cela mettre en communication les corps avec le disque fixe de la balance : on trouve alors que les forces répulsives départies aux disques de la balance sont égales.

1369. M. Harris, pour bien se rendre compte du mode d'action du plan tangent, a fait une série assez nombreuse d'observations sur les inductions de plans de diverses épaisseurs, appliqués à différents points d'un cylindre électrisé, d'environ 4 pieds de long et 2 pouces et demi de diamètre, et terminé par deux faces planes circulaires. Les expériences ont été conduites de la manière suivante : le cylindre chargé c (fig. 23) a été placé sur deux pieds isolants $i\,i'$ fixés à une plate-forme mobile N. Par ce moyen, l'extrémité du cylindre pouvait être portée immédiatement sous le plan suspendu p de l'électromètre E. Quand on voulait communiquer au cylin-

dre une charge d'une quantité donnée, on disposait l'index de l'instrument depuis zéro jusqu'à un nombre déterminé de degrés dans la direction oy, au moyen de petits poids placés dans la coupe q. On communiquait ensuite de l'électricité au cylindre c jusqu'à ce que l'index revînt à o. Par ce moyen la distance pa était toujours constante pour une charge donnée; mais comme la force attractive est dans le rapport du carré de la quantité d'électricité possédée par le corps chargé, on n'avait qu'à faire varier dans ce rapport les degrés, et l'on obtenait ainsi une quantité double, triple, d'électricité sur le conducteur; l'index étant de nouveau ramené au zéro de l'arc xy, le cylindre chargé était retiré de l'électromètre. Le cylindre à chaque expérience était mis sous le plan de l'électromètre, et l'on remplaçait l'électricité dissipée pendant la dernière expérience. Les plans d'épreuve abc, etc., employés étaient des plans circulaires, ayant un demi-pouce de diamètre, et les épaisseurs suivantes : $a = 0{,}05$, $b = 0{,}12$, $c = 0{,}25$, $d = 0{,}5$, $e = 1$, $g = 2$. L'unité de longueur était égale à un pouce.

Voici les résultats obtenus : la force de réaction de l'instrument était d'environ $\frac{1}{2000}$ grain par chaque degré. f représente les premières déviations ainsi que les distances des corps répulsifs; F les réactions prises à une distance donnée; $d = 10$ degrés; $c\,c'$ E indiquent les points touchés.

TABLEAU I.

	QUANTITÉ DE L'ÉLECTRICITÉ = 1, = 32 DEGRÉS DE L'ÉLECTROMÈTRE.															
	a.		*b.*		*c.*		*d.*		*e.*		*g.*		*p.*		*q.*	
	f.	F.	*f.*	F.	*f.*	F.	*f.*	F.	*f.*	F.	*f.*	F.	*f.*	F.	*f.*	F.
C	3+	1−	5	2,5	6,5	4	10	10	14	25	20	55	28	168	32	328
C	4,5	2	7+	5	9	8	14	25	20	55	29	220	31	320	32	328
E	5	3,5	10	10	14	26	19	50	23	92	30	225	32	323	32	328

TABLEAU II.

	QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ = $\frac{1}{2}$ = 8° DE L'ÉLECTROMÈTRE.									
	d		*e*		*g*		*p*		*q*	
	f	F	*f*	F	*f*	F	*f*	F	*f*	F
C.....	7	4	10	10	14	25	15	25	21	81
C'.....	9	8	15	32	20	55	22	70	21	81
E.....	14	25	16	36	20	35	22	70	21	81

En supposant que la distance donnée $d = 10°$ fût une de celles qui feraient considérer les forces répulsives comme proportionnelles aux quantités d'électricité dans les points respectifs du corps touché, on a, en prenant les racines carrées des forces respectives à 10°, les résultats suivants :

TABLEAU III.

	QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ = I = 32° de l'électromètre.							
	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*g*	*p*	*q*
C.....	1 —	1,6	2	3 ‖	5	7,4	13	18
C'....	1,4	2,2	2,8	5	7,4	15	18—	18
E.....	1,8	3 +	5	7 ‖	9,5	15	18—	18

TABLEAU IV.

	QUANTITÉ = $\frac{1}{2}$ = 8° D'ÉLECTROMÈTRE.				
	d.	*e.*	*g.*	*p.*	*q.*
C.....	2	3 ‖	5	5	9
C'....	2,8	5,6	7,4	8 ‖	9
E....	5	6	7.4	8 ‖	9

En examinant ces résultats, on observe : 1° dans la colonne horizontale C, tableau I, où les quantités d'électricité sont moins considérables, que les forces respectives *f* F sont dans les quatre premiers cas *a b c d*, dans un rapport inverse des distances ou à peu près : ainsi, l'on a pour la plaque *b*, force à 5° : force à 10° :: 5 : 2,

:: 2 : 1. Cette loi cependant commence à changer et devient irrégulière, quand on augmente la quantité d'électricité; phénomène observé précédemment. Dans la colonne horizontale c', il en est de même, excepté quand les quantités d'électricité deviennent plus considérables; la loi commence bientôt à changer comme sur la plaque d. Dans la colonne E la quantité d'électricité étant fortement accrue, la loi change encore plus vite; dans le tableau II on observe des effets semblables.

1370. Lors donc qu'on cherche à établir des rapports entre les quantités d'électricité qu'on suppose être distribuées sur le grand cylindre chargé à divers degrés, on peut s'attendre à les trouver plus ou moins troublés par l'action inductive, variable entre les corps répulsifs.

En se reportant au tableau III, on voit que le rapport du centre c à l'extrémité E est à peu près, d'abord avec des plaques ab, comme 1 : 2; résultat semblable à celui qui a été obtenu par Coulomb. Sous la plaque c ce rapport tend à changer, comme on le voit plus clairement au tableau I; c'est à ce point où la loi pour la plaque c touchée à l'extrémité commence à varier, ainsi qu'on le voit dans le même tableau.

1371. Tous les faits observés rendent donc très-probable que la quantité d'électricité enlevée à la surface d'un corps électrisé, au moyen d'un petit disque isolé et mince, peut être très-influencée par la position du point d'application, indépendamment de la quantité d'électricité possédée par ce corps au point touché, de sorte que la même quantité peut exister en deux points différents, et cependant ce plan d'épreuve se charger inégalement, si le pouvoir d'induction de la plaque est différent dans les points touchés. Si, par la position mutuelle des particules électriques, la susceptibilité inductive du disque tangent était à peu près nulle, ce plan ne se chargerait à aucun degré et serait aussi inefficace qu'une plaque de verre verni ou de quelque autre substance non conductrice, dont la susceptibilité inductive serait si faible, qu'elle n'enlèverait pas dans les circonstances ordinaires la plus faible

portion d'électricité à un corps chargé sur laquelle on l'appliquerait. M. Harris en conclut qu'il n'est pas improbable qu'un petit plan isolé plongé dans une sphère chargée, ne présente ces circonstances. Dans ce cas, ce plan ne se chargerait pas, quand bien même il y aurait réellement de l'électricité.

1372. Si toutes les considérations que je viens d'exposer sont exactes, il est quelquefois douteux que l'on puisse prendre le plan d'épreuve comme élément d'un corps chargé, puisque ne faisant pas partie intégrante de la surface, il en résulte des effets d'induction qui compliquent la charge prise par ce plan.

Quoi qu'il en soit, nous ne savons réellement rien de la distribution actuelle de l'électricité sur une surface chargée, si ce n'est par l'intermédiaire des corps qu'on y applique. D'un autre côté, M. Harris, et depuis M. Faraday, comme nous le verrons bientôt, ont essayé de démontrer qu'un corps électrisé n'exerce une action à distance que par l'influence des parties matérielles placées entre lui et d'autres corps; ce qui porte à croire qu'une sphère électrisée, ou parfaitement isolée, dans le plus grand vide qu'on puisse obtenir, conserverait pendant un temps indéfini son état électrique, s'il était placé hors de l'influence d'une source d'attraction.

Je crois en avoir dit assez pour faire sentir la nécessité aux physiciens de soumettre les vues de M. Harris à de nouvelles épreuves expérimentales, afin de déterminer jusqu'à quel point les effets d'induction produits par les corps électrisés sur le plan d'épreuve, qu'on applique en différents points de leur surface, pour avoir les tensions électriques de ces points, compliquent les résultats obtenus, au point de faire perdre quelquefois aux lois de Coulomb toute leur généralité.

CHAPITRE VII.

DE L'INDUCTION D'UN COURANT SUR LUI-MÊME, OU A DISTANCE.

§ Ier. *Circonstances qui exercent une influence sur l'induction d'un courant sur lui-même.*

1373. Depuis l'époque où M. Faraday a fait sa belle découverte de l'action inductive qu'exerce un courant électrique sur un fil ou un barreau de métal, situé à une certaine distance, tous les physiciens se sont livrés à une foule de recherches pour étudier cette nouvelle propriété des courants. Le lecteur a pu voir dans cet ouvrage (1) une analyse des travaux qui ont été exécutés à ce sujet dans l'espace de quelques années. Récemment encore M. Henry, professeur de philosophie naturelle à New-Jersey, a étendu le domaine de cette partie de la physique; les résultats auxquels il est parvenu sont d'une telle importance, particulièrement en raison de l'intensité des effets obtenus, que je crois devoir les exposer ici avec quelques détails. Les divers appareils dont il a fait usage dans ses expériences consistent en spirales plates, formées d'un ruban de cuivre recouvert de soie, et auxquelles il donne le nom de spirale n° 1, n° 2, etc., et en hélices composées de fils longs qu'il appelle hélice n° 1, n° 2, etc., pour les distinguer entre elles.

(1) Tom. II, pag. 469 et suivantes.

La spirale n° 1 est composée d'une lame de cuivre, du poids de 14 kilogrammes, de 30 mètres de longueur et de 4 centimètres de largeur. Sa forme est représentée en *a* (fig. 30). La spirale n° 2 n'a que 10 mètres de long et a la forme *b*; cette spirale est ouverte à son centre afin de pouvoir y introduire une hélice. Les autres spirales ont à peu près la même longueur, la même épaisseur, mais elles ont moitié moins de largeur.

L'hélice n° 1 est formée d'un fil de cuivre de 603 mètres de long et d'un demi-millimètre de diamètre; l'hélice n° 2, d'un fil de 904 mètres de long, et la troisième d'un fil de 319 mètres. La figure 31 représente ces hélices qui peuvent se mettre l'une dans l'autre, quand on veut n'en former qu'une seule. Le fil dont elles sont formées est recouvert de coton enduit de cire d'abeilles. L'hélice n° 4 a 546 mètres de long et le même diamètre que les précédentes; l'hélice n° 5, 1371 mètres de long et environ un demi-millimètre de diamètre; le fil de cette hélice est de cuivre argenté, recouvert de coton. On a fait usage, en outre, d'une grande roue formée d'un fil de cuivre enroulé en hélice, recouvert de coton, et de 4570 mètres de long. Cette roue tourne sur un petit axe de fer.

La direction des courants induits est déterminée au moyen d'une spirale électro-magnétique, formée de 30 spires, dans l'intérieur de laquelle on peut introduire une aiguille à coudre.

On s'est servi encore d'un petit fer à cheval, en fer doux, dont chaque branche est entourée d'un fil de laiton; d'une batterie formée de trois cylindres de cuivre et de deux cylindres de zinc interposés; elle présente une surface d'un décimètre carré en cuivre, et de trois quarts de décimètre en zinc. Arrivons aux expériences :

1374. Lorsque l'électricité a une faible intensité, comme dans le cas où l'on emploie une pile thermo-électrique, ou un seul grand couple voltaïque, faiblement excité avec une dissolution acide, on obtient avec la spirale n° 1, les déflagrations les plus brillantes, tandis que les commotions sont très-faibles.

Avec 5 fils en spirale, formant une longueur de 100 mètres, la déflagration est moindre, mais les commotions sont plus fortes. On démontre que la limite de l'accroissement de l'intensité du choc a lieu quand la conductibilité du circuit a éprouvé une diminution suffisante.

En augmentant l'intensité d'action de la batterie, l'action de la spirale courte décroît. En employant une pile à auges, de 60 plaques de 4 pouces carrés, à peine observe-t-on un effet quand le courant provenant de la plaque de la pile passe à travers le fil de la grande roue; quant à la commotion produite par le courant induit, elle est trop forte pour être supportée.

En faisant toujours usage d'un fil long, on peut réduire la dimension des plaques de la batterie sans qu'il y ait une diminution correspondante dans l'intensité de la commotion.

1375. Ayant pris une très-petite batterie, composée seulement de 6 petits morceaux de laiton, et d'un nombre égal de morceaux de zinc, quand le courant de cette batterie passait dans le fil de la roue, c'est-à-dire, dans un fil de près de 5000 mètres de long, la commotion se faisait sentir à la fois dans vingt-six personnes se donnant la main. Cet effet vraiment extraordinaire suffit pour donner une idée des effets produits par les courants induits, ayant une intensité considérable, quoique produits par une petite quantité d'électricité.

1376. La forme du métal enroulé a une influence considérable sur l'intensité du courant. M. Faraday avait fait usage, dans ses expériences, d'une spirale formée d'un fort fil de cuivre, renfermant une tige de fer doux. Cette forme produit effectivement le plus grand effet quand on fait usage de la réaction magnétique; mais dans les cas d'induction, le professeur Henry a trouvé qu'on obtenait de plus grands effets en employant des rubans au lieu de fils. Dans ce cas, les différentes spires étant plus rapprochées, doivent exercer effectivement une plus grande influence les unes sur les autres.

§ II. *Conditions qui exercent une influence sur la production des courants secondaires.*

1377. Les courants secondaires ont été découverts par M. Faraday, en faisant réagir à distance des aimants, ou des courants électriques, sur des fils de cuivre. Le professeur Henry, frappé de l'action énergique des spirales plates, a voulu s'en servir pour étudier les phénomènes des courants voltaïques secondaires. Il a pris, à cet effet, la spirale *a* (fig. 30), disposée pour recevoir le courant de la petite batterie, et la spirale *b*, qu'il a placée sur la première, en les séparant l'une de l'autre au moyen d'une plaque de verre. Toutes les fois que le circuit *a* était interrompu, on obtenait un courant secondaire induit puissant dans le circuit *b*.

En frottant ensemble les extrémités de la seconde spirale, il se produisait une étincelle; ces mêmes extrémités, étant mises en communication avec une spirale magnétique, l'aiguille placée dans son intérieur devenait fortement magnétique ; quand elles étaient en communication avec un appareil décomposant, on obtenait à chaque pôle un dégagement de gaz. Le choc produit par le second ruban était très-faible et se faisait à peine sentir dans les doigts.

1378. On a placé ensuite une hélice, dont le fil avait une longueur de 2605 mètres, sur la spirale *a*. Le poids de cette hélice se trouvait être précisement le même que celui du ruban, et par conséquent les différents effets provenant de la même quantité de métal dans les deux formes d'un conducteur long et d'un autre conducteur, pouvaient être comparés. Avec cet arrangement, les effets magnétiques obtenus avec l'appareil ci-dessus disparaissaient; les étincelles étaient beaucoup plus petites et les décompositions étaient également moindres qu'avec la spirale courte; mais le choc était presque trop intense pour qu'on pût le recevoir à travers le corps. Cinquante-six personnes le reçurent en même temps par la simple

rupture du courant de la batterie. Le professeur Henry a montré qu'il y avait une limite à l'accroissement de l'intensité du courant, aussi bien qu'au pouvoir de décomposition, avec un fil de diamètre donné. Il a montré en outre qu'en augmentant le diamètre du fil, on peut aussi accroître sa longueur et obtenir des effets plus marqués; et il en a conclu, ainsi que de diverses autres expériences, que les courants qui, d'après la théorie d'Ampère, sont censés circuler dans les aimants, sont analogues à ceux de la spirale courte, c'est-à-dire, qu'ils sont abondants en quantité et de faible intensité.

1379. Les expériences rapportées dans le paragraphe précédent ont été faites avec un seul couple; mais si l'on emploie une pile de 60 éléments, on obtient les résultats suivants :

Lorsque l'on fait passer le courant dans la spirale n° 1, on n'obtient qu'une très-faible indication de courant secondaire dans une des spirales ou hélices disposées comme il a été dit précédemment. La longueur de la spirale n'était pas en rapport avec l'intensité du courant de la batterie. Mais il n'en était plus de même en substituant la grande hélice n° 1 à la spirale n° 1 : on avait alors une action inductive puissante.

Les hélices n°s 2 et 3 ayant été réunies et placées dans l'hélice n° 1, le courant secondaire donnait de fortes commotions, une faible décomposition chimique et point d'aimantation dans le fer à cheval. On avait alors un courant induit intense produit par un courant d'une batterie énergique. L'expérience fut faite autrement; la spirale n° 3 fut placée sur l'hélice n° 1; le courant indirect ne donna point de commotion; mais il aimanta le fer à cheval. En frottant les extrémités du ruban, on obtint des étincelles brillantes; ce courant avait donc la propriété d'un courant très-abondant, c'est-à-dire formé d'une grande quantité d'électricité.

Ce fait et d'autres analogues établissent qu'un courant intense peut en induire un abondant, tandis que les expériences précédentes montrent que l'on peut obtenir le contraire.

On voit par là comment l'intensité et la quantité peuvent être produites toutes deux par la même induction.

On peut conclure de quelques-unes des expériences précédentes, que la quantité d'électricité en mouvement dans l'hélice est réellement moindre que dans la spirale de même poids. Cet effet provient probablement de la plus grande résistance que présente le fil le plus long. Il paraît résulter des expériences précédentes, que, pour produire les effets physiologiques les plus énergiques, il ne faut qu'une petite quantité d'électricité se mouvant avec une grande rapidité.

M. Henry s'est borné à donner les conditions générales qui exercent une influence sur l'induction voltaïque. Pour obtenir la loi de cette induction, il faudrait opérer avec une pile à courant constant, et pouvoir rompre le circuit d'une manière uniforme, condition assez difficile à remplir.

§ III. *De l'induction des courants secondaires à distance.*

1380. Dans les expériences précédentes les hélices inductrices et induites n'étaient séparées que par une lame de verre; voyons quels sont les effets produits quand elles sont plus éloignées. La spirale n° 1 a été mise sous la forme d'un anneau d'environ 6 décimètres de diamètre, et l'hélice n° 4 placée comme l'indique la fig. 32. Lorsque la distance était de 4 décimètres, des chocs pouvaient être perçus sur la langue; leur intensité augmentait à mesure que la distance diminuait, et ils étaient très-forts dès l'instant que l'hélice se trouvait dans la place de l'anneau. On obtenait encore un plus grand effet quand elle se mouvait du centre à la circonférence; mais quand elle était mise en contact avec la circonférence extérieure en *b*, les chocs étaient très-légers; placée dans l'intérieur, l'axe à angles droits avec celui de l'anneau, on n'obtenait aucun effet.

Cet arrangement n'est pas le plus favorable pour

produire l'induction à distance, puisque le côté de l'anneau en *c* tend à produire un courant tournant dans une direction sur le côté le plus rapproché de l'hélice, et un autre courant dans une direction opposée, sur le côté le plus éloigné. L'effet produit est donc la différence des deux.

La spirale n° 1 n'étant pas changée, on a substitué, à la petite hélice, l'hélice n° 1, d'un diamètre de 37 centimètres : l'effet à distance a beaucoup augmenté. En ajoutant l'hélice n° 2 à l'hélice n° 1 et se servant des courants de deux petites batteries, on sentait distinctement les chocs sur la langue, quand la distance des plans de la spirale et des hélices réunies en une seule était de 1 mètre.

L'action inductive d'un courant pour produire l'aimantation du fer doux à distance, a une force surprenante, comme il est facile de le voir en plaçant un cylindre de fer doux dans le centre de l'anneau de la spirale.

1381. M. Henry cite une expérience faite pour étonner les personnes qui ne connaissent pas les effets de l'induction : elle consiste à produire ces derniers à travers un mur de séparation entre deux chambres. La spirale n° 1 est suspendue au mur d'une chambre, tandis qu'une personne reçoit le choc dans une chambre à côté, en saisissant les bouts de l'hélice et les approchant de l'endroit opposé à celui où est suspendue la spirale. L'expérience réussit mieux à travers une porte ou une pièce de bois épaisse.

1382. L'action énergique des conducteurs en spirale permet d'imiter d'une manière très-frappante les effets de la machine magnéto-électrique, au moyen d'un courant continu. Il suffit pour cela de disposer deux spirales de manière à représenter les deux pôles d'un aimant en fer à cheval, et de faire tourner deux hélices dans un plan parallèle, pendant qu'on fait passer un courant constant à travers chaque spirale, dans des directions opposées; l'effet de la rotation des hélices est précisé-

ment le même que celui de l'armature révolutive de la machine.

§ IV. *Sur les effets d'induction produits par l'interposition de différentes substances entre les conducteurs.*

1383. Davy a prouvé qu'on pouvait rendre magnétiques des aiguilles au moyen des décharges électriques à travers des corps conducteurs ou non conducteurs. L'action inductive paraît suivre la même loi, quoiqu'on ait souvent des effets qui lui sont opposés.

Pour faire cette épreuve, l'hélice composée n° 1 a été placée à environ 14 centimètres de la spirale n° 1, fig. 33, et l'on a interposé entre elles une plaque de fer laminé d'environ 1 millimètre d'épaisseur. Il était impossible alors d'obtenir des chocs, tandis qu'ils étaient très-intenses en retirant la plaque. En substituant une plaque de zinc à la plaque de fer, l'effet était le même: tous les conducteurs parfaits se sont comportés de la même manière; tandis que les corps non conducteurs, comme le verre et le bois, ne paraissaient exercer aucune influence pour arrêter ou diminuer l'induction.

1384. En opérant avec des écrans conducteurs, on peut éprouver une faible sensation sur la langue. Lorsque l'hélice est séparée de la spirale par une distance égale à l'épaisseur de la plaque, on éprouve cet effet avec une lame de zinc de 1 millimètre d'épaisseur; son intensité augmente avec l'accroissement de quantité du courant de la batterie; l'induction devient aussi plus intense à mesure que l'épaisseur de la plaque diminue.

1385. Les effets produits par les écrans métalliques sont dus aux courants instantanés qui se développent dans ces écrans par l'induction, comme il est facile de le montrer. En effet:

Une plaque circulaire de plomb, servant d'écran, ayant fait disparaître l'induction dans l'hélice, on a enlevé une languette de métal dans la direction d'un rayon:

l'effet a été le même que si elle n'eût pas été interposée. On démontre l'existence du courant dans le conducteur interposé en mettant en communication la spirale électro-magnétique, au moyen de deux fils, avec deux points de la plaque circulaire, comme on le voit fig. 34. Au moyen de cette disposition une portion du courant passe dans la spirale. Ce courant était secondaire, et la direction la même que celle du courant primaire.

1386. Je vais montrer maintenant que l'influence de l'interposition est en quelque sorte produite par l'action neutralisante du courant indirect. On substitue aux plaques la spirale plate n° 3; quand les deux bouts de celle-ci sont séparés, on reçoit des chocs comme si la spirale n'eût pas été interposée; mais si les deux bouts sont réunis, afin de former un circuit métallique, il est impossible d'obtenir des chocs. La spirale neutralise donc comme la plaque métallique, et peut-être même plus complétement.

Diverses autres expériences prouvent évidemment que la neutralisation a lieu au moyen des courants induits dans les conducteurs interposés ou adjacents.

Ces résultats paraissent à la première vue en désaccord avec le principe établi par Davy, savoir: que les aiguilles peuvent être rendues magnétiques par une décharge électrique, quelle que soit la nature de l'écran interposé. Mais en y réfléchissant bien, on voit, d'une part, que dans le mode d'expérimentation qu'il avait adopté, la plaque de métal était placée entre un conducteur droit et l'aiguille; de l'autre, que cet arrangement a de l'analogie avec le circuit interrompu dans l'expérience avec la plaque coupée, qui ne se comporte pas comme un écran. L'effet aurait été différent si la plaque avait été courbée en forme de cylindre avec les deux bouts en contact et l'aiguille placée dans l'intérieur.

§ V. *Sur la production et les propriétés des courants induits des 3e, 4e et 5e ordres.*

1387. Nous venons de voir que l'interposition d'une

plaque conductrice entre le courant primitif et le courant secondaire fait naître dans celle-ci un courant secondaire qui détruit l'effet du courant primitif; on devait en conclure que si le premier pouvait être écarté ou séparé de l'influence de l'autre, on pourrait avoir un courant induit dans un troisième conducteur. L'expérience a prouvé l'exactitude de cette conclusion. On dispose les spirales et les hélices comme l'indique la fig. 35. Le courant primitif passe par la spirale *a*, tandis que la spirale *b* est placée au-dessus pour recevoir l'induction; les extrémités de cette dernière sont mises en relation avec celles de la spirale *c* : au moyen de cette disposition le courant secondaire passe dans *c;* celui-ci étant hors de l'influence du courant primitif, son induction séparée est rendue manifeste par son action sur l'hélice *d;* si l'on prend alors les manches *m* et *m'*, on reçoit une forte commotion qui prouve l'existence d'un courant tertiaire. En multipliant les spirales et se conformant aux dispositions précédentes, on obtient des chocs avec des courants du 4e et du 5e ordre. Le courant secondaire, qui consiste pour ainsi dire en un flot d'électricité mis en mouvement pendant un instant, par l'induction du courant primitif, a le pouvoir d'induire un autre courant, mais d'une énergie un peu moindre que la sienne; c'est-à-dire qu'il a plus de quantité et moins d'intensité; il produit ainsi des effets en apparence plus grands, proportionnellement à la quantité d'électricité en mouvement, que le courant primitif.

1388. On conçoit très-bien la différence qui existe entre l'action des courants induits et celle des courants inducteurs ou provenant directement de la batterie. L'une consiste en une seule impulsion, l'autre en une succession d'impulsions semblables qui constituent une action continue. Dès lors, ces courants ont des propriétés différentes, qu'il est important de connaître pour bien les distinguer, en ayant égard à l'intensité. Le professeur Henry a reconnu qu'avec une petite batterie on peut faire ressentir la commotion à 25 personnes au

moyen d'un courant du 3e ordre; avec un courant du 5e ordre, les commotions se font sentir dans les bras, et vont en diminuant à mesure que l'on emploie des courants d'un ordre plus élevé.

L'action à distance est également plus forte qu'on ne pouvait le supposer, puisque l'on a ressenti distinctement sur la langue des chocs avec un courant tertiaire, lorsque l'hélice n° 1 était à la distance de 18 pouces, au-dessus de la spirale qui transmettait le courant secondaire.

Les mêmes effets d'écrans ont lieu au moyen des plaques de métal interposées entre les conducteurs de différents ordres, comme ceux qui ont été obtenus avec des courants primaires et secondaires

Si l'on passe la grande hélice sur une spirale traversée par un courant secondaire, qui est un courant de quantité comme on l'a vu, il se produit un courant tertiaire ou d'intensité. On obtient encore un courant de quantité quand on fait passer le courant d'intensité de la dernière expérience à travers une seconde hélice et qu'on place dessus une autre spirale. On voit donc qu'avec ces courants, comme avec le courant primitif, un courant de quantité peut être induit par un courant d'intensité, et *vice versa*. L'appareil (fig. 36) indique la disposition que l'on doit adopter pour obtenir ces différents résultats. L'induction de la spirale *c* dans l'hélice *d* produit un courant d'intensité, et l'induction de l'hélice *e* un courant de quantité sur la spirale *f*.

Si les bouts de la spirale *b* (fig. 35) sont unis à l'hélice *d*, au lieu de la spirale *c*, on n'obtient pas de chocs; dans ce cas, le courant de quantité de la spirale *b* ne paraît pas avoir une intensité suffisante pour traverser le fil de la grande hélice.

Ces exemples suffisent pour montrer les circonstances dans lesquelles se produisent les courants d'intensité et les courants de quantité.

1389. Les expériences de M. Faraday ont rendu probable qu'au commencement et à la fin du courant secondaire, son induction sur un fil adjacent est dans des direc-

tions contraires, comme cela a lieu à l'égard du courant primaire, relativement au courant secondaire; mais l'action d'un courant secondaire est tellement instantanée que les effets d'induction au commencement et à la fin ne peuvent être distingués l'un de l'autre. On n'observe qu'une seule impulsion, qui peut être considérée comme la différence de deux impulsions dans deux directions opposées. Pour acquérir quelque lumière à ce sujet, on peut faire l'expérience suivante dans laquelle on emploie un courant du 4e ordre. La spirale magnétisante *g* (fig. 36) est attachée aux bouts de la spirale *f*. La polarité de l'aiguille prouve que le courant fourni par *f* est dirigé dans le même sens que les courants secondaire et primaire. Il semble résulter de là que les courants de tous les ordres devraient avoir la même direction que le courant de la batterie; mais il n'en est pas ainsi, comme on va le voir :

1390. M. Henry, à la suite d'un grand nombre d'expériences, a été conduit à ce fait important, que les courants des différents ordres changent alternativement de direction à partir du courant secondaire; il a étudié ce mode d'action avec l'appareil décomposant et le galvanomètre. La direction des courants est établie comme il suit :

Courant primaire.....	+
Courant secondaire.....	+
Courant de 3e ordre.....	—
Courant de 4e ordre.....	+
Courant de 5e ordre.....	—

Voici comment ce fait important a été observé : la spirale magnétisante (fig. 36), étant attachée aux extrémités de la spirale *f*, on a trouvé, d'après le sens de la polarité de l'aiguille, que ce courant était dans la même direction que les courants secondaire et primaire, tandis que la spirale magnétisante, placée à la suite de la 3e et de la 5e, a donné un courant en sens inverse. Il reste à expliquer pourquoi la loi de l'alternative fait dé-

faut entre le courant primaire et le courant secondaire. Quoi qu'il en soit, M. Henry s'est servi de cette loi pour expliquer l'action neutralisante des plaques interposées, en partant de l'induction du courant secondaire dans la plaque : quoique l'action de ce dernier soit dans le même sens que le courant de la batterie, il tend néanmoins à induire un courant de direction contraire dans la matière conductrice adjacente. Cette explication s'applique également à tous les autres cas de neutralisation qui ont lieu entre les conducteurs des différents ordres de courants.

Le même principe peut expliquer quelques effets que l'on rapporte à l'induction d'un courant sur lui-même : on sait qu'en mettant en communication une spirale plate avec la batterie, l'induction produit des étincelles à chaque rupture du circuit; mais si l'on pose sur la première spirale une autre spirale dont les bouts sont réunis, l'intensité du choc est de beaucoup diminuée; lorsque les diverses spires des deux fils sont mutuellement interposées, en enroulant les deux fils l'un sur l'autre, les étincelles disparaissent entièrement dans le ruban qui transmet le courant de la batterie, toutes les fois que les bouts de l'autre sont réunis. Dans ce cas, le courant induit dans la première spirale est un véritable courant secondaire qui est neutralisé par l'action du courant secondaire dans le conducteur voisin, puisque celui-ci tend à produire un courant dans une direction opposée.

Il paraîtrait, d'après l'expérience précédente, qui indique une parfaite neutralisation du courant induit dans la 1re spirale, que le courant induit dans le conducteur voisin est plus puissant que celui du premier conducteur, puisqu'il l'anéantit. On conçoit comment cela peut avoir lieu : les deux bouts de la seconde spirale étant réunis, elle forme un circuit parfait; tandis que le circuit de l'autre spirale peut être considéré comme interrompu, non-seulement à cause des solutions de continuité de la pile, mais encore parce que, pour rendre

l'étincelle visible, l'électricité doit être projetée pour ainsi dire à travers une petite distance dans l'air.

Il semble résulter encore des observations précédentes, que deux courants secondaires contigus, produits par la même induction, se contrarient partiellement l'un l'autre; car ces deux courants, se mouvant dans la même direction, tendent chacun à induire un courant dans une direction opposée.

§ VI. *Des courants induits de différents ordres, produits au moyen de l'électricité ordinaire.*

1391. On a vu précédemment que le courant secondaire dont la durée est instantanée peut induire un courant d'une énergie considérable; on a dû penser que l'on pouvait obtenir des effets semblables avec une décharge d'électricité ordinaire quand l'isolement est assez imparfait. Pour vérifier cette conjecture, le professeur Henry a fait l'expérience dont le dispositif est représenté (fig. 37): on prend un cylindre de verre creux *a*, d'environ 15 centimètres, avec une bande étroite de feuille d'étain, d'environ 10 mètres de long, qu'on enroule en spirale à l'extérieur, et une bande semblable, de la même longueur, qu'on enroule à l'intérieur, de sorte que les spires correspondantes des deux spirales sont directement opposées l'une à l'autre, afin que les effets de l'induction soient les plus forts possible. Les bouts de la spirale intérieure passent dans un tube de verre, pour empêcher toute communication directe entre les deux. Quand les bouts de la spirale intérieure sont mis en communication avec la spirale magnétisante *c*, et que l'on fait passer un courant dans la spirale extérieure, l'aiguille qui se trouve dans la spirale devient fortement magnétique, ce qui indique un courant induit à travers le fil intérieur, dans la même direction que celle du courant de la bouteille. En plaçant presque en contact les bouts de la spirale intérieure, on voit une

petite étincelle à l'instant où la décharge a lieu dans l'autre spirale.

Lorsque les bouts de la même spirale sont à une distance considérable, on peut obtenir une étincelle plus forte.

Toutes les fois que les bouts de la spirale extérieure sont réunis de manière à former un circuit tout métallique, on peut en tirer une étincelle en un point quelconque, quand on fait passer une décharge à travers la spirale intérieure. Les étincelles sont dues ici à des décharges latérales.

1392. Il résulte encore de diverses expériences, que la décharge de la bouteille de Leyde possède, comme la pile, la propriété d'induire un courant secondaire, et que cette induction est tellement en rapport avec le phénomène de la décharge latérale, que celle-ci participe de la nature d'un courant électrique ordinaire. Diverses expériences montrent aussi que l'on peut produire des courants de différents ordres avec l'électricité ordinaire. Mais nous n'entrerons dans aucun détail à cet égard, attendu que les résultats sont les mêmes qu'avec l'électricité voltaïque.

On a obtenu également des effets d'écrans semblables à ceux qu'on avait eus avec les courants ordinaires. Il en a été de même quand on a substitué des spirales aux plaques, comme il a été dit précédemment.

Dans toutes ces expériences, l'existence du courant induit a été déterminée au moyen de l'aimantation d'une aiguille placée dans une spirale en rapport avec l'une des grandes spirales. Je ne dois pas oublier aussi de dire que l'on a obtenu des chocs au moyen du courant secondaire. Les hélices *c* n°s 2 et 3 (fig. 38), ayant été réunies, furent mises dans un bocal de verre, et la spirale *a*, n° 2, placée autour de ce bocal. En saisissant les manches métalliques adaptés aux extrémités de l'hélice *c*, on éprouvait un choc au moment où la décharge traversait la spirale extérieure. Dans toutes les expériences, en employant l'électricité ordinaire ou l'électricité voltaïque,

les résultats ont été semblables. Je dois dire cependant que les courants de différents ordres obtenus avec l'électricité ordinaire, au lieu de présenter les alternatives des courants voltaïques, sont tous dans la même direction que la décharge de la bouteille.

1393. M. Henry, après avoir fait plusieurs expériences pour expliquer cette différence, a pensé que la direction des courants pouvait bien dépendre de la distance des conducteurs.

Pour vérifier cette idée, il a tendu parallèlement deux bandes étroites de feuilles d'étain, d'environ 4 mètres de long, en les séparant au moyen de plaques minces de mica à une distance d'environ un demi-millimètre; en faisant passer dans l'une d'elles la décharge d'une bouteille de Leyde, on obtenait dans l'autre un courant induit dans la même direction. Les rubans ayant été séparés par des plaques de verre à une distance d'un peu plus d'un millimètre, le courant cheminait encore dans la même direction. Quand la distance était de 3 millimètres, on ne pouvait obtenir de courant induit. En augmentant la distance, le courant a reparu de nouveau, mais dans une direction opposée. On n'a point remarqué ensuite d'autres changements dans la direction des courants. Dans ces expériences, la direction du courant a été déterminée par la polarité de l'aiguille placée dans la spirale magnétisante.

1394. En employant une bouteille de Leyde ordinaire et les conducteurs étant placés à une distance moindre, de $\frac{1}{20}$ de pouce, le courant induit était toujours dans la même direction que le courant primaire; mais quand on éloignait graduellement les conducteurs, on trouvait toujours une distance où la direction du courant commençait à changer. Cette distance dépendait de la force de la décharge, de la longueur et de l'épaisseur des conducteurs. Avec une batterie de 8 bouteilles, semblables à celle qu'on a déjà mentionnée, et en employant des fils parallèles, d'environ 3 mètres de long, le changement dans la direction n'avait pas lieu à une distance au-dessous de 3 à

4 décimètres; avec une batterie encore plus forte et des conducteurs plus longs, on ne trouvait aucun changement, quoique l'induction fût produite à la distance de 6 décimètres au-dessus.

Les courants de tous les ordres jouissent également de la propriété de changer la direction des courants induits avec la distance. Dans ces différents cas cependant, le changement a toujours lieu à une très-petite distance du fil conducteur, et sous ce rapport le résultat est semblable à l'effet d'un courant primaire de la décharge d'une petite bouteille.

1395. Voici encore une expérience qui donne une grande idée des effets d'induction produits par une forte décharge électrique. Cette expérience a été faite avec une batterie de 32 bouteilles et un fil de cuivre de 0,0025 mètres de diamètre, et de 26 mètres de long, dont les bouts ont été mis en communication avec la batterie. A côté de ce fil, s'en trouvait un autre ayant les mêmes dimensions et dont les bouts étaient en rapport avec une spirale magnétisante. Les deux fils recourbés, comme l'indique la fig. 39, ont d'abord été placés à la distance d'environ 3 millimètres, et ensuite séparés après chaque décharge de toute la batterie à travers le premier fil. Quand on faisait une rupture en *a*, l'aiguille en *b* n'était pas aimantée; mais quand le circuit était complet, l'aiguille par son aimantation indiquait un courant dans la même direction que celui de la batterie. En augmentant la distance jusqu'à près de 5 décimètres, la direction du courant ne changeait pas, et son intensité était suffisante pour donner le choc. Le second fil a été placé ensuite autour de l'autre, de manière à le renfermer; le magnétisme parut alors plus fort. La direction du courant était encore la même; on a continué à l'écarter jusqu'à ce que les deux fils fussent séparés à la distance de 4 mètres, excepté en un endroit où ils étaient croisés à la distance de 2 mètres; l'aiguille, à cette grande distance, était encore assez magnétique pour attirer la limaille de fer. La direction du courant était la même que celle

de la batterie. La longueur du circuit du fil intérieur était d'environ 26 mètres, et celle du fil extérieur de 39 mètres. Des effets d'induction analogues à ceux que je viens d'indiquer, doivent se manifester dans la décharge de l'électricité des nuages.

1396. Une décharge d'électricité ordinaire produisant un courant secondaire puissant dans un fil voisin, il est probable qu'elle doit produire un effet analogue dans le fil même où elle a lieu; mais il est bien difficile de l'observer. Le professeur Henry rapporte à ce sujet l'expérience suivante faite sur l'électricité atmosphérique, en 1836, par un comité de l'institut de Franklin : deux cerfs-volants avaient été attachés et élevés avec un petit fil de fer au lieu de corde; le fil s'étendait sur la longueur d'environ un mille. Le temps était parfaitement clair, et cependant les étincelles tirées du fil avaient une si grande force, que 15 personnes se donnant la main et debout sur le sol reçurent en même temps la commotion, dès que le premier eut touché le fil. En saisissant une bouteille de Leyde par l'armure extérieure, et présentant le bouton au fil, on reçut une commotion très-forte, qui n'était que le résultat d'une induction soudaine et intense.

Ces effets ne doivent pas être attribués à l'électricité accumulée aux extrémités du fil, puisqu'il fallait approcher l'articulation du doigt à environ 6 millimètres avant de recevoir l'étincelle; il ajoute qu'on ne peut aussi les attribuer à la quantité depuis que les expériences de Wilson ont prouvé qu'on ne produit pas le même effet avec une somme égale d'électricité répartie sur la surface d'un grand conducteur; il en conclut alors que l'effet observé est dû à l'induction d'un courant sur lui-même.

Le fil étant chargé d'une quantité considérable d'électricité faible, qui passe sous forme d'un courant dans toute sa longueur, il se produit une induction à la fin de la décharge, comme dans le cas où un long fil transmet un courant voltaïque.

Il paraît résulter des observations faites, qu'il est probable que le courant voltaïque, comme le cou-

rant électrique, produit d'abord une action inductive dans la direction même, et que l'influence inverse a lieu à une petite distance du fil.

Pour faire vérifier cette conjecture, M. Henry a placé l'hélice sur la spirale n° 1, pour recevoir l'induction, et ses bouts ont été unis à ceux de la spirale extérieure en étain du cylindre de verre (fig. 37), tandis que la spirale magnétisante était attachée au bout de la spirale intérieure. Il s'est produit alors un courant tertiaire faible, dont la direction était la même que celle du courant primaire. Dans d'autres cas, le magnétisme était imperceptible, ou dans un autre sens. Avec un arrangement de 2 spirales, disposées autour de 2 cylindres de verre l'un dans l'autre, on obtenait le même effet. Le magnétisme était moindre quand la distance des deux séries de spires était plus petite; ce qui indiquait l'approche d'une position neutre. Ces résultats paraissent indiquer le même changement que la distance dans le cas des courants voltaïques. La distance à laquelle a lieu ce changement semblerait moindre avec les courants voltaïques qu'avec les décharges.

Aussi tout concourt à prouver qu'il y a une parfaite analogie entre l'action inductive du courant primaire de l'appareil galvanique et celui de la batterie électrique; seulement, le point de changement de chacun d'eux avec la batterie paraît s'effectuer à une grande distance.

1397. L'effet neutralisant des plaques interposées peut s'expliquer en disant que lorsqu'on agit en même temps sur un troisième conducteur par un courant primaire et un courant secondaire, à moins qu'il ne soit très-rapproché du second fil, cet effet tombe dans la sphère de l'influence + du premier, et dans celle de l'influence — du dernier, et que par conséquent il n'y a pas d'induction produite. La figure 40 rend compte de ce qui se passe; *a*, représente le conducteur du courant primaire; *b*, celui du courant secondaire; *c*, le troisième conducteur. Les signes + + + commençant au milieu du premier conducteur et s'étendant jusqu'en bas, représentent l'influence constante + du cou-

rant, et les signes + o — — etc., commençant au second, indiquent que son influence inductive change avec la distance. Le troisième conducteur, comme on le voit dans la figure, tombe dans la région + du courant primaire et dans la région — du courant secondaire, et par là les deux actions se neutralisent l'une l'autre, il ne se produit pas de résultats apparents.

La figure 41 indique la disposition au moyen de laquelle on conçoit l'effet neutralisant dans le cas des courants secondaire et tertiaire. Le fil conduisant le courant secondaire est représenté par *b*; celui qui conduit le courant tertiaire par *c*, et l'autre fil pour recevoir l'induction par *d*. La direction de l'influence, comme avant, est indiquée par + o — — etc.; on voit encore ici le troisième fil dans la région + d'un courant et dans la région moins dans l'autre. Quand *d* est placé assez près de *c*, alors la neutralisation n'a pas lieu, et les deux courants tendent à y produire une induction dans la même direction.

Toutes les expériences qui viennent d'être rapportées se lient intimement avec les observations de M. Savary concernant le magnétisme alternant que prennent des aiguilles d'acier placées à diverses distances de la ligne de décharge d'électricité ordinaire, et avec celles de M. Harris sur l'influence magnétique de tous les métaux servant d'écrans (1).

§ VI. *De l'induction des courants thermo-électriques.*

1398. Tous les courants électriques doivent produire des effets d'induction, c'est un fait qui est aujourd'hui bien établi; mais il restait à démontrer que les courants thermo-électriques jouissent également de cette propriété. Voici comment M. Zantedeschi l'a prouvé (2). Des fils de cuivre, entourés de soie, ont été enroulés dans

(1) Tom. III, p. 244 et t. II, p. 86.
(2) Bibl. univ., t. 15, p. 190.

des directions déterminées, autour de morceaux de métal cristallisé, et leurs extrémités mises en rapport avec un multiplicateur. On a plongé tantôt l'une, tantôt l'autre surface de chaque morceau de métal dans de l'eau à la température de 30 à 50°; l'aiguille aimantée, par sa déviation, annonçait la production d'un courant, dont le sens dépendait de la surface plongée et de l'état cristallin du morceau. Dans un morceau de bismuth qui avait six faces, et du poids d'un kil. M. Zantedeschi a obtenu sur quatre des surfaces opposées, prises deux à deux, deux courants dirigés en sens contraire, et dans les deux autres surfaces pareillement opposées, deux courants qui faisaient dévier l'aiguille du même côté. En présentant une arête à la source de chaleur et inclinant le morceau de métal plus d'un côté que de l'autre, il a obtenu dans la spirale des courants qui faisaient dévier l'aiguille tantôt à gauche, tantôt à droite. Dans un morceau d'antimoine semblable au précédent et d'un poids égal, il a eu sur quatre des faces des déviations de même côté, et sur les deux autres des déviations du côté opposé. Avec des parallélipipèdes rectangles d'antimoine et de bismuth, on a trouvé sur les faces opposées des courants dirigés en sens inverse.

CHAPITRE VIII.

DU POUVOIR INDUCTEUR DES DIÉLECTRIQUES.

1399. Nous avons déjà parlé (1358, etc.) des effets d'induction produits par l'interposition de différentes substances entre les conducteurs parcourus par des courants électriques, mais nullement des effets qui s'exercent également à distance, entre deux corps dont l'un est électrisé et l'autre à l'état naturel, en ayant égard à l'influence de l'air ou d'autres corps intermédiaires.

M. Faraday a cherché quelle était cette influence, et si elle était nécessaire ou non pour que l'induction eût lieu. Les nombreuses recherches qu'il a faites à ce sujet l'ont conduit à admettre le principe général suivant :

Tous les moyens d'exciter la puissance électrique dans les corps, et même de faire naître des courants électriques, sont toujours précédés d'une action inductive. Pour établir ce principe, il a dû se livrer à une foule de recherches expérimentales qui sont toutes d'un haut intérêt et dont je vais faire connaître les principaux résultats.

On sait depuis longtemps que l'action inductive s'exerce dans un corps conducteur par un corps électrisé voisin, lors même qu'il se trouve entre eux d'autres corps mauvais conducteurs, tels que l'air, différents gaz, le verre, la gomme laque, etc., qui laissent passer librement l'action par influence. On admet donc que cette action s'exerce à distance, quel que soit le corps mauvais conducteur intermédiaire. Mais M. Faraday a prouvé

que l'induction a pour intermédiaires les diélectriques, ou corps isolants interposés, qui agissent chacun d'après la nature de leurs molécules. Pour trouver le pouvoir inducteur de ces corps, M. Faraday a fait usage des appareils suivants :

1° d'une balance de Coulomb qui a pour fil de torsion un fil de verre de 20 pouces de long, dont la finesse est telle que, muni de tous ses accessoires, le bras de levier fait 10 oscillations en une minute pour revenir dans sa position d'équilibre ordinaire. Son élasticité est suffisante pour que l'on puisse le tordre de quatre circonférences sans qu'il cesse de revenir dans sa position. La boule fixée au bras de levier est de sureau doré; son diamètre est d'environ $\frac{3}{10}$ de pouce. Deux bandes de feuilles d'étain, collées à la surface intérieure de la cage, l'entourent entièrement à la distance de $\frac{4}{10}$ de pouce l'un de l'autre. Ces bandes, mises en communication avec la terre, exercent une influence égale sur les boules électrisées. L'intérieur de la cage est desséché avec de la potasse fondue. Une boule de bois doré remplace le plan d'épreuve de Coulomb.

Avant chaque expérience, M. Faraday avait l'attention de s'assurer si les boules conservaient longtemps l'électricité qu'il leur avait donnée, et si elles pouvaient être déchargées complétement par le contact d'un corps conducteur non isolé;

2° d'un appareil destiné à étudier l'action inductive à travers divers milieux, dans des circonstances qui fussent toujours les mêmes, et disposé de manière à pouvoir mettre dans l'intérieur et à en retirer avec facilité les corps solides, liquides ou gazeux qu'on y avait introduits.

Cet appareil (fig. 42) se compose des parties suivantes :

aa sont les deux moitiés d'une sphère de cuivre superposées l'une sur l'autre en *b*, comme les hémisphères de Magdebourg. *c*, est une pièce d'ajustage qui joint l'appareil à un robinet *d*, attaché à un pied métallique ou à une pompe à air. L'ouverture *f* est très-petite. *g* est

un cylindre de cuivre adapté à l'hémisphère supérieur, à travers lequel le récipient de la boule intérieure passe ainsi que sa tige. *h* est une boule intérieure en cuivre, vissée à la tige de cuivre *i*, terminée au-dessus par une boule de cuivre B. *ll* est une masse de matière isolante servant à supporter et à isoler les boules *h* et B. Cette masse est traversée par la tige *i* qui soutient la boule *h*, et ne touche pas, autant que possible, la partie inférieure de la tige.

La boule *h* a une ouverture en *n* destinée à introduire et à retirer les gaz à volonté. La figure indique tous les accessoires à l'aide desquels chaque sphère peut être mise en communication avec le corps électrisé, séparée l'une de l'autre ou remplie de diverses substances.

Toutes les fois que l'on opère avec des gaz acides ou alcalins, on enlève l'hémisphère supérieur et l'on nettoie avec soin l'appareil, que l'on peut considérer comme une bouteille de Leyde dont le corps isolant intermédiaire peut être changé à volonté.

1400. Passons aux expériences : on prend une bouteille de Leyde capable de donner une étincelle de 1 à 2 millimètres entre deux boules d'un diamètre de 1 centimètre. La boule de transport de la balance étant chargée avec cette bouteille, on l'introduit dans la balance et on la met en contact avec la boule mobile en tournant l'index. La boule est repoussée à une distance de 30° par exemple. On considère cette déviation comme représentant la répulsion des boules. Cela fait, l'appareil d'induction est chargé ensuite avec la bouteille de Leyde.

Un autre appareil d'induction semblable au précédent est placé ainsi que lui sur un support non isolant, à une distance telle qu'ils ne puissent s'influencer l'un l'autre; toutes les précautions sont prises pour éviter la déperdition de l'électricité. Enfin les appareils sont disposés de manière à pouvoir opérer toujours dans les mêmes circonstances. Nous verrons dans un instant l'usage qu'on peut en faire; mais auparavant, montrons comment l'induction peut s'établir en ligne courbe.

A cet effet, on prend un cylindre de gomme laque de deux centimètres de diamètre et de deux décimètres de longueur, que l'on fixe verticalement sur un pied de bois (fig. 43). On pratique à l'extrémité supérieure de ce cylindre une cavité destinée à recevoir une boule d'étain ou autre. La partie supérieure de la tige ayant été électrisée négativement avec une flanelle chaude, une boule de métal est placée sur le sommet, et l'on examine ensuite l'état électrique de l'appareil avec la boule de transport et la balance de Coulomb. Dans le premier instant du contact, la boule B et la boule de transport ne sont pas isolées, elles le sont ensuite, afin qu'il y ait une charge d'électricité. La boule de transport ayant été placée successivement, dans une expérience, aux points *a b c d*, elle a toujours pris de l'électricité positive, mais dans les proportions suivantes :

a au-dessus de.....	1000°
b	149
c	270
d	512

Nous ferons remarquer, 1° que les charges de la boule B ainsi que celles de la boule de transport sont des charges par induction ; 2° que les charges *a*, *c*, *d*, sont le résultat d'actions inductives en ligne droite, attendu la petitesse des arcs qui mesurent leur distance ; 3° qu'il n'en est pas de même de la charge qu'on a obtenue en *b*, attendu qu'elle est le résultat d'une charge par induction en ligne courbe.

Maintenant, si l'on place la boule de transport en *e*, à une certaine distance de *b*, ne l'isolant pas d'abord, puis l'isolant ensuite, elle se charge encore d'électricité positive, mais à un degré plus élevé.

1401. On prouve de la manière suivante que l'induction ne peut agir à travers le métal : si l'on substitue à la boule B un petit disque de même métal, dans ce cas, la boule de transport peut être chargée au milieu, au-des-

sus du milieu de la surface supérieure : mais toutes les fois que la plaque a un pouce et demi ou deux pouces de diamètre (fig. 44), la boule ne prend aucune charge en *f*, mais bien en *g* ou en *h*. Ces faits montrent bien que l'induction a lieu en ligne courbe, non à travers le métal, mais à travers l'air. Les effets sont encore les mêmes avec la boule B quand elle communique avec le sol au moyen d'un fil de métal.

En opérant avec un hémisphère de cuivre (fig. 45), au lieu de la boule B, M. Faraday a obtenu les résultats suivants qui sont intéressants :

En *i* la force était de.....	112
En *k*.....	108
En *l*.....	65
En *m*.....	35

Il y avait donc diminution dans l'action inductive.

En *n* la charge allait jusqu'à.....	87
En *o*.....	105
Et en *p*.....	98

On peut donc conclure de là, que l'action inductive s'exerce en ligne courbe comme en ligne droite, et que, dans les deux cas, l'effet doit être rapporté à l'action des particules contiguës de l'air, mises dans un état de polarité suivant une direction dépendante de celle des forces agissantes.

Ces expériences répétées avec d'autres diélectriques, tels que le gaz acide carbonique, l'hydrogène, l'essence de térébenthine, la laque, le soufre, le borate de plomb fondu, ont donné les mêmes résultats. Avec le soufre, l'expérience a été faite de la manière suivante : une plaque carrée de soufre, façonnée en creux afin d'y placer la boule de transport, a été posée sur l'hémisphère métallique (fig. 47). Le plan d'épreuve, porté successivement en *nopq*, a donné des résultats qui indiquaient

encore l'action inductive en ligne courbe. M. Faraday a trouvé qu'en opérant avec des diélectriques solides, la quantité d'électricité prise successivement aux points *n opq* est plus grande que celle qui est communiquée à la boule au même point, quand il n'y a que l'air d'interposé entre elle et l'hémisphère de métal.

1402. Étudions maintenant les effets de l'induction dans le verre, la laque, le soufre, au moyen de l'appareil (fig. 42), afin de pouvoir comparer les pouvoirs inducteurs de ces corps. Une coupe hémisphérique de laque fut d'abord placée dans l'intérieur, et le globe intérieur chargé de manière à donner 400° à la balance de Coulomb. En le déchargeant 15 minutes après, on lui enlevait en apparence toute son électricité; mais au bout de 10 minutes, il recouvrait une charge qui pouvait aller jusqu'à 50°, 60° et même 80°. Cet effet, qui se manifestait aux deux surfaces d'induction, dépendait de l'action exercée par l'électricité sur la laque, et était évidemment le résultat d'un résidu.

Pour s'en rendre compte, l'appareil fut chargé positivement au-dessus de 600°, pendant 45 minutes, aux boules *h*, B (fig. 42). L'appareil ayant été déchargé, la laque fut enlevée et examinée; la boule de transport fut placée près de la laque; en la tenant d'abord non isolée, puis l'isolant ensuite. Cette charge ayant lieu par induction, on devait avoir une électricité contraire à celle de la laque, si celle-ci en avait possédé. Il fut impossible dans les premiers instants d'en recueillir; mais peu à peu les deux surfaces prirent des états électriques opposés; la surface concave en contact avec la boule intérieure, chargée positivement, prit le même état, et la surface convexe, en contact avec l'armure négative, l'état négatif. Ces deux états augmentaient d'intensité graduellement pendant quelque temps. L'expérience fut recommencée en enlevant l'hémisphère supérieur, afin que la coupe ne fût plus en contact qu'avec l'hémisphère inférieur non isolé. La surface intérieure de cette coupe, essayée avec la boule de transport, donna cette fois de

l'électricité négative qui disparut rapidement et fut remplacée par de l'électricité positive dont la tension croissait graduellement pendant quelque temps.

Une coupe hémisphérique épaisse de flint-glass a présenté les mêmes effets, mais non au même degré, attendu que l'action de retour donnait des charges qui allaient de 6 à 18°, tandis qu'avec la laque les charges étaient plus fortes.

Le blanc de baleine, quoique isolant très-bien une faible charge pendant quelque temps, conduit mieux ensuite que la laque, le verre et le soufre.

Avec une coupe de soufre, la charge de retour n'a été que de 17 à 18°. Le verre et le soufre, corps très-mauvais conducteurs, sont ceux qui ont donné les charges de retour les plus faibles.

En plaçant de l'air dans l'appareil d'induction, l'action de retour a été très-faible.

Les effets précédents sont dus, comme on le sait depuis longtemps, à une pénétration de la charge dans le corps diélectrique, à chacune de ses deux surfaces, en vertu de son faible pouvoir conducteur.

1403. Il paraît qu'en général les forces électriques qui produisent l'induction ne se trouvent pas seulement sur les surfaces métalliques, mais encore sur et dans l'intérieur des diélectriques. Cela résulte évidemment de l'influence qu'exercent les diélectriques sur l'induction; l'expérience suivante vient confirmer cette conjecture.

Soit *c* (fig. 48) la section d'une plaque d'un diélectrique, *a* et *b* les armures métalliques, *b* non isolé et *a* chargé positivement. 10 ou 15 minutes après, si *a* et *b* sont déchargés, isolés et examinés aussitôt, on n'y trouve aucune charge d'électricité. Peu de temps après ils sont chargés, de la même espèce d'électricité, mais non au même degré.

Supposons maintenant qu'une portion de l'électricité positive ait pénétré le diélectrique et se fixe en *p*. Une portion correspondante de la force négative prendra position en *n*; l'induction de ces deux forces sera plus

grande de l'une à l'autre, et moindre dans la direction extérieure, attendu qu'elles sont à une distance *np* moindre que *ab*. En déchargeant *ab* on détruit toute l'induction extérieure, et la boule de transport indique que les deux doublures ne sont pas électrisées; mais cette charge enlève aussi toutes les forces qui la poussaient dans l'intérieur. Cette force n'existant plus, la plus grande partie retourne sur les surfaces. Ces résultats montrent que les meilleurs isolants solides, comme la laque, le verre et le soufre, ont des propriétés conductrices qui permettent à l'électricité de les pénétrer, tout en étant soumis à la condition de l'induction; plus les corps sont de bons isolants, moins la charge sensible pénètre dans l'intérieur du diélectrique.

1404. Voyons maintenant comment on trouve le rapport entre le pouvoir inducteur de deux diélectriques. M. Faraday, auquel on doit la méthode d'expérimentation à l'aide de laquelle on fait cette détermination, a commencé par opérer sur la laque et le soufre. Commençons par l'induction à travers la laque. Lorsqu'une portion de la surface d'une plaque épaisse de laque est excitée, il y a peu de différence sensible dans le caractère de l'induction produite par cette partie chargée, soit d'un côté dans l'air, soit dans la laque de la plaque, pourvu toutefois que la seconde surface n'ait pas été chargée préalablement. La laque et l'air ont d'abord été comparés ensemble : une coupe hémisphérique épaisse de laque a été placée dans l'hémisphère inférieur de l'un des appareils d'induction (fig. 42); puis on a laissé de l'air dans l'autre. Ces appareils étaient tellement semblables qu'ils avaient le même pouvoir inducteur quand l'air était le diélectrique commun.

Appelons *i* l'appareil à l'hémisphère de laque, et *ii* l'appareil rempli d'air. La charge primitive donnée à l'appareil rempli d'air ayant été partagée avec l'appareil de laque, on a eu :

App. *i* laque.	App. *ii* air.

Écartement des boules : 255°

0	0
0	304
»	297

Charge partagée.

113	»
»	121
0	après la décharge.
»	7 après la décharge.

Interprétons maintenant ces résultats : 297-7 ou 290 est la charge divisible de l'appareil *ii* (7 représentant l'action de la tige fixée), dont la moitié est 145; mais l'appareil de laque *i* a donné 113 pour le pouvoir de tension acquis après la division, tandis que l'appareil à air *ii* n'a retenu que 121—7 ou 114. Ces deux nombres sont à la vérité sensiblement égaux, mais ils diffèrent l'un et l'autre de 145 que l'on aurait dû obtenir si le pouvoir inducteur des deux appareils avait été le même, c'est-à-dire si l'on n'eût pas employé de l'air dans l'un et de la laque dans l'autre. Nous voyons par là que dans le partage, l'induction à travers l'air a perdu 176, tandis qu'à travers la laque elle n'a gagné que 113. En admettant que cette différence provienne uniquement de la plus grande facilité que possède la laque sur l'air de transmettre l'action inductive à travers sa substance, la capacité pour l'induction électrique sera en raison inverse de la perte respective et du gain; la capacité de l'appareil étant 1, celle de l'appareil de laque sera 176 divisé par 113 ou 1,55. En répétant cette expérience un certain nombre de fois, et corrigeant les erreurs provenant de la perte d'électricité par diverses causes, on a obtenu successivement 1,47; 1,50; 1,55; 1,49, dont la

moyenne est 1, 5 pour le pouvoir de l'appareil. La laque a donc un pouvoir supérieur à l'air pour produire l'induction.

Les expériences ont été recommencées avec la laque pure dissoute dans l'alcool très-fort, et la dissolution filtrée et évaporée : les effets ont été les mêmes. Ils ne sont pas dus évidemment à la conduction ordinaire, puisque les sphères électrisées primitivement ne perdent pas dans les expériences la quantité d'électricité qu'elles ont acquise. Le rapport 1, 5, quoiqu'il exprime la capacité d'induction de l'appareil qui contient l'hémisphère de laque, ne doit pas être considéré néanmoins comme représentant le rapport de la laque à l'air, attendu que la laque n'occupe que la moitié de l'espace *oo* de l'appareil, le reste étant rempli d'air. Si l'on écarte l'effet des deux parties supérieures des globes, alors le pouvoir de la laque dans la moitié inférieure est au pouvoir de l'air dans la moitié inférieure de l'autre, comme 2 est 1. Ce rapport même doit être au-dessous de la vérité, attendu que l'induction de la partie supérieure de l'appareil, c'est-à-dire du fil *i* de la boule B (fig. 42), sur les objets extérieurs, étant la même dans les deux cas, doit diminuer considérablement la différence provenant de l'influence de la laque à l'intérieur.

1405. M. Faraday a opéré ensuite avec une coupe hémisphérique épaisse de flint-glass semblable à celle de la laque, mais qui ne remplissait pas aussi bien l'espace *oo*, puisqu'il existait un espace vide de 0, 22 de pouce; avant d'être introduite dans l'appareil, elle fut recouverte d'une couche de laque. On a trouvé encore que le verre, comme la gomme laque, surpassait l'air dans son pouvoir de favoriser l'induction à travers sa propre substance. La moyenne des résultats obtenus, après les corrections faites, a donné 1, 38.

Or, 1, 38 étant l'expression de l'appareil du verre, la capacité spécifique d'induction sera supérieure à 1, 76, en se rappelant que cette valeur est pour un morceau de verre dont l'épaisseur n'occupe pas tout à fait les deux

tiers de l'espace dans lequel l'induction se soutient. Avec le soufre on a obtenu pour la capacité de l'appareil à air, comparée à celle de l'appareil de soufre, le rapport moyen 1 : 1,62; il en résulte que la capacité spécifique du soufre lui-même, comparée à celle de l'air, est égale ou un peu supérieure à 2, 24. Ce résultat est un des plus exacts qu'on ait obtenus.

La capacité spécifique d'induction du blanc de baleine paraît comprise entre 1,3 et 1,6. Les liquides qui sont meilleurs isolants, tels que l'essence de térébenthine, le naphte rectifié, soumis à l'expérience, ont donné encore une capacité spécifique supérieure à celle de l'air.

1406. M. Faraday a soumis aussi à l'expérience différents gaz, en commençant par l'air à diverses densités. L'un des appareils ayant été chargé, on a examiné successivement la tension de cette charge quand l'air intérieur était plus ou moins raréfié. On a trouvé, en commençant l'expérience avec une certaine charge, que celle-ci ne changeait pas de tension ou de force lorsque l'air était raréfié jusqu'au point où la décharge s'opérait à travers l'espace *o o*. Dans ce cas, la décharge était proportionnée à la raréfaction; et quand elle avait lieu et qu'elle abaissait la tension à un certain degré, ce degré n'était nullement affecté en rétablissant la pression et la densité de l'air telles qu'elles étaient au commencement de l'expérience. En effet :

Quantités.	Pouces de mercure.	Charges.
à une pression de.....	30	..la charge était de 88°
»	30	 88
»	30	 87
réduite à	14	 87
élevée de nouveau à ...	30	 86
réduite encore à	3,4	 81
élevée à	30	 81

Avec une charge plus faible, et la pression de l'air dans l'appareil ayant été réduite à 1,9, on a eu une

charge de 29°; en faisant rentrer l'air jusqu'à ce que la pression fût de 30 pouces, la charge se maintint encore à 29°.

L'oxigène s'est comporté de même. Ce résultat de non variation dans la tension électrique, à mesure que l'on diminue la densité et la pression de l'air, s'accorde, comme nous le verrons plus loin, avec les observations de M. Harris, qui a trouvé que l'induction est la même dans l'air raréfié que dans l'air dense, et que la divergence des boules d'un électromètre pendant les variations de la pression de l'air, continue à être la même, pourvu qu'il ne s'échappe pas d'électricité. L'effet produit est donc indépendant du pouvoir que possède l'air dense de maintenir à la surface des conducteurs une charge plus forte que celle que peuvent retenir les mêmes conducteurs dans l'air raréfié. Les résultats ont encore été les mêmes avec de l'air à zéro et de l'air dont la température a été portée de 50 à 200°.

L'air sec et l'air humide n'ont pas donné de différence dans les résultats.

Les gaz, bons isolants, excepté ceux qui agissent sur la laque, tels que le chlore, l'ammoniaque et l'acide hydrochlorique, ont été soumis à l'expérience après avoir été préalablement desséchés. On a trouvé que tous possèdent le même pouvoir ou la même capacité pour maintenir l'induction en eux-mêmes. Les variations dans la pression ou la densité ne produisent non plus aucun effet.

Il paraît établi maintenant que dans tous les gaz l'induction a lieu par une action des particules contiguës, comme dans les corps solides.

M. Faraday a établi cette loi, en comparant deux à deux les gaz dont les noms suivent, afin qu'aucune différence ne pût lui échapper :

Azote et.....	Oxigène.
Oxigène.....	Air.
Hydrogène.....	Air.
Gaz acide muriatique....	Air.

Oxigène.....	Hydrogène.
Oxigène.....	Acide carbonique.
Oxigène.....	Gaz oléfiant.
Oxigène.....	Gaz nitreux.
Oxigène.....	Acide sulfureux.
Oxigène.....	Ammoniaque.
Hydrogène.....	Gaz oléfiant.
Hydrogène.....	Acide carbonique.
Hydrogène.....	Acide sulfureux.
Hydrogène.....	Acide fluo-silicique.
Hydrogène.....	Ammoniaque.
Hydrogène.....	Hydrogène arsénié.
Azote.....	Gaz oléfiant.
Azote.....	Gaz nitreux.
Azote.....	Ammoniaque.
Oxide de carbone.....	Acide carbonique.
Id.	Gaz oléfiant.
Oxide nitreux.....	Gaz nitreux.
Ammoniaque.....	Acide sulfureux.

Malgré les contrastes frappants qui existent entre les propriétés physiques et chimiques de ces gaz, tous, sans exception, n'ont pas donné la moindre différence dans leur capacité pour favoriser l'induction.

1407. Il pourrait se faire cependant que les gaz présentassent quelque différence dans leur capacité spécifique d'induction. Mais si cette différence existe, l'appareil dont on a fait usage n'a pu l'indiquer. D'après les faits que je viens d'exposer, l'induction, connue jadis sous le nom d'action par influence, paraît être une action de particules contiguës du diélectrique ou corps isolant, par l'intermédiaire de laquelle les forces électriques sont transmises à distance. M. Faraday, en s'appuyant sur les expériences dont il vient d'enrichir la physique, assimile l'induction au mode de propagation du fluide électrique dans les corps conducteurs, avec cette différence capitale néanmoins, que, dans le premier cas, il n'y a pas transmission d'électricité d'une particule à une autre, tandis que, dans le second, cette transmission a lieu.

Nous ajouterons encore que l'induction n'exige pas d'épaisseur sensible dans les corps conducteurs dont on fait usage pour limiter son étendue, puisqu'une feuille d'or non isolée peut être rendue positive sur une surface, et fortement négative sur l'autre, pendant que l'induction continue, tandis que dans les diélectriques leur épaisseur a une influence immédiate et importante sur le degré d'induction.

L'induction paraît donc consister comme je l'ai déjà dit, en un certain état de polarisation des particules des diélectriques, produit par le corps électrisé qui maintient l'action; état qui doit être forcé, parce qu'il n'est produit et maintenu que par la force, et qui cesse dès l'instant que la cause qui lui a donné naissance n'existe plus. J'ajouterai que lorsque cette force est supérieure à la force d'agrégation ou aux affinités, les molécules sont alors séparées ou décomposées.

Le principe qui produit l'induction, comme j'ai déjà eu l'occasion de le faire remarquer, manifeste son action dans tous les phénomènes électriques : c'est lui qui constitue la charge, qui préside au dégagement de l'électricité et à la production des courants, etc. On voit donc qu'on ne saurait donner trop d'attention à l'étude des phénomènes d'induction qui peuvent nous faire connaître leur influence sur les phénomènes électriques en général.

CHAPITRE IX.

DES CIRCONSTANCES QUI ACCOMPAGNENT LA DÉCHARGE ÉLECTRIQUE ENTRE DEUX CONDUCTEURS.

1408. M. Harris a fait une étude particulière des circonstances qui accompagnent la transmission de l'électricité, entre deux corps conducteurs, sous la forme de décharge; je vais rapporter les faits principaux qu'il a observés (1) et dont nous aurons besoin plus loin pour l'interprétation de divers phénomènes. Deux sphères étant en contact, en des points déterminés de position, si on les sépare à des distances données, on trouve que les quantités d'électricité respectives, qui sont nécessaires pour produire une décharge, varient en raison directe des distances. Voici comment on le prouve : un électromètre de décharge (fig. 49) est disposé de manière à pouvoir obtenir facilement des distances données entre les points les plus rapprochés des sphères c et c', au moyen d'une vis micrométrique s. Cet appareil est fixé à une bouteille de Leyde D, ayant une armure de 5 pieds. On peut évaluer très-exactement, au moyen du mesureur u (précédemment décrit), la quantité d'électricité nécessaire pour opérer une décharge à une distance donnée entre les boules c et c'. En opérant ainsi, on trouve que le nombre de mesures indiquées par la bouteille u, varie exactement avec les distances entre les points les plus

(1) Trans. phil. 1834.

rapprochés des boules c et c'. Il en est encore de même de la décharge de deux conducteurs chargés différemment, que l'on met en présence; or, si l'on compare ces résultats avec ceux que j'ai donnés dans les chap. V et VI de ce livre, on voit que, tandis que les distances de décharge entre deux points augmentent dans le simple rapport de la quantité, les forces attractives augmentent comme le carré de cette quantité.

M. Harris a trouvé qu'en général la distance de décharge est dans un rapport simple avec la quantité d'électricité contenue sur une surface de communication qui est toujours la même. Dès lors, la distance à laquelle de l'électricité accumulée peut se décharger dans l'air d'une densité donnée, peut servir à mesurer exactement la quantité comparative d'électricité accumulée sur une surface, ou sa tension.

Si l'on prend pour unité la force développée entre les deux points c et c', au moment de la décharge, et que l'on place les boules avec la même accumulation à une distance double, la force est réduite au quart, puisqu'elle varie en raison inverse du carré de la distance. La décharge ne saurait donc avoir lieu à cette distance; mais des accumulations doubles, triples, etc., développent des quantités libres ou des intensités qui sont comme les carrés de toute la quantité accumulée; on a donc, avec des quantités accumulées doubles, triples, etc., des forces attractives qui compensent exactement le décroissement de la force, en raison de l'accroissement de distance. Ainsi, avec des accumulations doubles, triples, la force est précisément la même; elle est donc suffisante dans chaque cas pour vaincre la pression atmosphérique, à chaque distance donnée.

1409. M. Harris infère de ses recherches, que la résistance de l'atmosphère, au passage de l'électricité, n'est pas réellement plus grande à travers une distance de décharge qu'à travers une autre, et n'est jamais plus forte que la pression de l'air.

1410. Pour connaître l'influence qu'exercent sur la dé-

charge les variations de densité et de température de l'air, on opère comme il suit : on met en rapport un électro-thermomètre avec l'électromètre de décharge (fig. 50); l'électro-thermomètre se compose d'une petite sphère de verre N, traversée par le fil de décharge, et en communication directe avec un thermomètre T. Les effets de quantités d'électricité déchargées à travers le fil sont observés avec soin, comme il a été dit précédemment. Le circuit *m h f r i d c n* varie avec l'étendue et la nature de la substance dans la portion *i d*. Quelques essais ont montré que l'effet dans le fil décroît dans un rapport inverse de la résistance à la transmission de l'électricité accumulée; ainsi l'effet est moindre avec un long circuit qu'avec un circuit plus court, et quand le circuit est composé de conducteurs imparfaits, comme le bois ou l'eau contenue dans un tube de verre, l'instrument est à peine affecté.

En employant de longs circuits de fils métalliques, l'effet varie dans un rapport inverse de la longueur. Ainsi avec un fil de cuivre isolé, de 300 pieds, la transmission d'une quantité donnée à travers l'électromètre N, éleve la température de 10 degrés; avec un circuit de 600 pieds, la résistance est telle, qu'elle ne s'éleve que de 5 à 6°; avec 900 pieds, de 3° seulement.

1411. Pour déterminer le genre de résistance que fait éprouver un milieu non conducteur, comme l'air, on dispose l'appareil comme il suit : une bouteille de Leyde E (fig. 50 bis) est mise en rapport avec les boules de décharge *c c'*, placées dans le ballon R; la distance entre ces boules est mesurée au moyen d'un micromètre *p*. Le vide peut être fait dans le ballon qui est muni d'un thermomètre R et d'une éprouvette *g*. Une enveloppe (fig. 51), munie d'une lampe D, permet d'élever à volonté la température. Ayant chargé d'une quantité donnée la bouteille E, on opère la décharge entre *c* et *c'*. Voici les résultats que M. Harris a obtenus :

1° Les quantités respectives, nécessaires pour traverser un intervalle donné, varient dans un simple rapport

avec la densité de l'air. Quand la densité est moitié, la décharge a lieu avec la moitié de la quantité accumulée, c'est-à-dire, avec un quart de l'intensité ou action libre.

2° La distance à travers laquelle peut se décharger une accumulation donnée est dans le simple rapport inverse de la densité de l'air. Par conséquent, dans l'air d'une densité moitié moindre, la décharge a lieu à une distance double.

En diminuant la densité et augmentant la distance entre les points de décharge, l'étincelle électrique approche de plus en plus de l'état d'une flamme à lumière diffuse sans être accompagnée d'aucun bruit. Cet effet a lieu aussi quand la distance entre les points de décharge étant la même, la quantité accumulée diminue continuellement. Lorsqu'on fait varier la température de l'air contenu dans le ballon, duquel il ne peut s'échapper, on trouve que la chaleur est sans effet pour modifier le pouvoir isolant de l'air; ce pouvoir, comme M. Faraday l'a trouvé depuis, est donc tout à fait indépendant de sa température et ne dépend que de sa densité. M. Harris conclut enfin des expériences qu'il a faites, 1° que l'air échauffé n'est pas, comme on l'a dit souvent, un conducteur de l'électricité, et que la chaleur ne facilite sa transmission qu'en diminuant sa densité; 2° qu'en supposant que la chaleur soit matérielle, elle serait un non conducteur de l'électricité, attendu que l'incorporation d'une substance conductrice avec une substance qui ne l'est pas, affaiblit le pouvoir isolant de la dernière, comme dans le cas de l'air chargé de vapeur; tandis que dans l'union intime de deux corps non conducteurs le pouvoir isolant reste parfait.

On peut expliquer maintenant le fait annoncé par le docteur Ritchie (1), contrairement à ce que Davy avait trouvé, savoir : que la chaleur n'affaiblit pas le pouvoir conducteur des métaux.

---

(1) Trans. philos. 1828, p. 373.

L'expérience principale de ce physicien consiste dans la transmission de l'électricité ordinaire à travers une tige de fer fourchue, dont l'une des branches est chauffée au rouge; il trouve alors que l'électricité passe plutôt par le côté chauffé que par le côté froid. Mais ce résultat ne peut démontrer la supériorité du pouvoir conducteur du fer échauffé, aussi longtemps que l'expérience est faite dans l'air, attendu que l'air raréfié par la chaleur perd à un degré plus ou moins fort son pouvoir restrictif. De plus, l'air en contact immédiat avec une tige de fer chauffé au rouge, est dans un grand état de raréfaction; dans ce cas, l'affaiblissement du pouvoir conducteur du métal est plus que compensé par la diminution de résistance à sa surface; de sorte que le pouvoir conducteur du métal, ainsi que la grande diminution de la densité de l'air d'un côté, peut encore offrir un passage plus facile à l'électricité que le pouvoir conducteur du métal seul.

1412. M. Harris, en étudiant la distribution de l'électricité sur des corps de diverses formes, a trouvé que la plus grande intensité d'une quantité donnée d'électricité, distribuée sur une aire donnée, se montre quand l'aire est contenue dans un cercle, et que l'intensité est moindre quand elle se répand sur une ligne droite indéfinie; que les intensités des conducteurs sont en raison inverse de leurs périmètres, quand la pression de l'air est constante. L'intensité ne varie pas dans un rapport inverse du carré de la surface, si ce n'est lorsque ces aires sont tellement disposées, que tout le périmètre des diverses plaques est comme les surfaces respectives; résultat qui s'applique aussi aux conducteurs cylindriques, les capacités électriques de ceux-ci étant les mêmes que les aires planes, dans lesquelles on peut supposer qu'elles se développent.

1413. Si l'on passe à l'intensité de l'accumulation induite, on trouve qu'elle n'est pas soumise à la même loi que celle qui a été observée dans un des corps électrisés d'une manière permanente. La force, dans un cas, est

comme l'accumulation induite simplement; dans l'autre, comme le carré de la quantité communiquée. La cause de cette différence peut être attribuée à une différence dans la nature des accumulations respectives.

Voici encore d'autres conséquences auxquelles M. Harris a été conduit dans ses recherches :

1° La force attractive produite entre un conducteur électrisé et un conducteur neutre non isolé, n'est nullement influencée par la forme et la disposition des parties non opposées. La force est précisément la même, que les corps opposés soient simplement des plans circulaires, ou des hémisphères, des cônes, etc.; deux hemisphères s'attirent l'un l'autre avec la même force que les sphères;

2° La force est en rapport avec le nombre des points d'attraction dans l'action, et en rapport inverse des carrés des distances respectives;

3° La force attractive, entre deux aires inégales circulaires, n'est pas plus grande qu'entre deux aires semblables, chacune étant égale à celle qui est moindre;

4° La force attractive d'un simple anneau et d'une aire circulaire l'un sur l'autre, n'est pas plus grande qu'entre deux anneaux semblables;

5° La force entre une sphère et un segment sphérique opposé, de la même courbure, n'est pas plus grande que celle de deux segments semblables, égaux chacun au segment donné. Ainsi l'attraction entre la sphère m et le segment non isolé n (fig. 52) est la même que celle des segments semblables et égaux $n\,n'$.

Les faits observés permettent de considérer la force attractive développée entre une sphère chargée et une sphère neutre de diamètres égaux, comme étant le résultat d'un système de forces parallèles agissant en lignes droites entre les points analogues des hémisphères opposés.

Il est démontré en outre que la résistance de l'air au passage de l'électricité est en raison directe du carré de la densité, de sorte qu'une quantité donnée ayant une intensité aussi donnée et prête à se décharger, restera

avec le même état relatif dans l'air, dont la densité est moitié moindre, si l'on double la distance entre les points de décharge. Par conséquent, si la densité de l'air est diminuée d'une manière indéfinie, et que la distance entre les points d'action soit indéfiniment augmentée, le même état électrique relatif se continuera sans qu'il y ait dispersion; de sorte que si l'on suppose que le corps opposé devient nul, alors l'électricité accumulée ne tendra pas du tout à quitter le corps électrisé, en supposant qu'il n'éprouve l'influence d'aucune autre substance. Cette conjecture, du reste, est justifiée par les effets des actions électriques dans le vide dont j'ai déjà parlé. On doit encore à M. Harris quelques observations importantes dont voici l'énoncé :

1414. Des décharges d'électricité ordinaire se transmettent plus facilement à la surface des corps, dans un milieu épuisé, que les courants voltaïques, ces derniers exigeant un isolement comparativement plus faible. Il est difficile, en effet, de fondre un fil fin par l'électricité ordinaire dans un réceptacle très-épuisé, tandis que l'électricité voltaïque l'échauffe bientôt jusqu'au rouge. M. Harris a fait passer la décharge d'une batterie armée, de 25 pieds carrés, dans un fil fin de fer renfermé dans un réservoir bien épuisé, sans que ce fil en fût affecté. L'électricité surabondante paraissait trouver un passage plus facile à travers l'air raréfié de sa surface, ce qui produisait un effet très-brillant. En laissant rentrer l'air, le fil était aussitôt fondu, en n'employant seulement que 5 pieds carrés de revêtement.

Comme on l'avait fait avant lui, il a transmis, au moyen d'une machine électrique très-puissante, des rayons électriques continus dans de longs tubes épuisés, d'environ 4 pouces de diamètre et de 6 pieds de long. Les extrémités des tubes étaient fixées et bouchées hermétiquement sur des plaques de cuivre, munies chacune d'une pointe armée. En épuisant modérément l'air et les plaques mises en contact avec les conducteurs positifs et négatifs de la machine, on obtenait des rayons lumineux

se ramifiant sur les parois du tube vers la plaque négative (fig. 53 et 54).

Plus l'épuisement était complet, plus la distinction des branches devenait moindre; et à la fin toute la surface intérieure était couverte d'une masse continue de lumière blanche.

Dans aucun cas, l'électricité ne paraissait transmise à travers l'espace intermédiaire, si ce n'est lorsqu'elle glissait des pointes sur les parois du tube.

Les observations de M. Harris, sur le pouvoir conducteur des corps, l'ont mis à même d'émettre l'opinion que le vide absolu ne peut posséder des propriétés conductives ou isolantes, attendu qu'il ne doit être qu'une simple condition passive dans laquelle on suppose une substance placée. Il résulte de là que le vide absolu ne peut posséder des propriétés conductrices.

Une force attractive, quelque petite qu'elle soit, développée dans le vide entre deux corps, devrait livrer passage au courant électrique à travers une distance même assez grande; seulement il est probable qu'il n'y aurait pas de lumière électrique produite.

J'ai déjà discuté assez longuement, dans cet ouvrage, le pouvoir conducteur du vide, pour y revenir; je me borne à faire connaître l'opinion de M. Harris, qui doit être prise en considération par les physiciens, attendu qu'elle repose sur des faits d'un grand intérêt.

CHAPITRE X.

DES RAPPORTS ENTRE L'INDUCTION, LA CONDUCTION ET LES DIVERSES CHARGES ÉLECTRIQUES.

1415. Guidé par les idées précédemment exposées, M. Faraday a cherché à établir la dépendance qui existe entre l'induction, la conduction et les diverses décharges électriques qui produisent les décompositions chimiques, les étincelles, etc.

Il existe, comme on le sait, trois espèces de décharges électriques, que je vais passer rapidement en revue, savoir : la conduction ou décharge conductive qui ne développe ni action chimique, ni déplacement apparent de particules; la décharge électro-chimique ou électrolytique qui produit un déplacement de particules, et la décharge qui s'opère par des étincelles ou des effets dont il va être question. Cette dernière décharge, en raison du violent déplacement des particules du diélectrique, a été appelée par M. Faraday décharge de rupture. On peut en admettre encore une quatrième, la décharge de transport, qui s'opère au moyen du transport des particules des corps solides, liquides ou gazeux, qui se trouvent sur le passage de l'électricité. Ces quatre modes de décharges sont liés évidemment ensemble par l'induction, comme il est facile de s'en convaincre par le simple exposé des faits.

§ Ier. *Conduction ou décharge conductive.*

1416. L'induction et la conduction ne sont que des

degrés extrêmes d'une condition commune, puisque l'une précède l'autre. Le blanc de baleine, par exemple, a une capacité inductive, représentée par 1,8 ou au-dessus; mais il a cependant un pouvoir conducteur, faible à la vérité, qu'on peut suivre pour ainsi dire pas à pas dans sa masse. Quand le fluide électrique a traversé cette substance jusqu'à une certaine profondeur, on peut, en faisant disparaître la force inductive, le faire retourner sur sa route et le montrer là où on l'avait d'abord appliqué. L'induction, comme on le sait depuis longtemps, est donc un préliminaire nécessaire à la conduction.

Le verre et la laque présentent des effets semblables, mais non au même degré, attendu que la conduction y est très-faible.

La glace ou l'eau gelée, qui est un corps isolant, est un meilleur conducteur que le blanc de baleine. Aussi les phénomènes d'induction et d'isolement disparaissent-ils rapidement, attendu que la conduction suit l'isolement.

1417. L'isolement et la conduction ne peuvent être séparés; ils se montrent toujours ensemble, comme on le voit, même dans les corps conducteurs; car la résistance qu'opposent les métaux au passage de l'électricité peut être considérée comme l'effet d'un pouvoir isolant. Ce pouvoir a été mis en évidence dans les expériences de M. Wheastone, qui a montré que le temps entre comme un élément dans la conduction des métaux (1).

Il a trouvé effectivement qu'en opérant la décharge dans un fil de cuivre de 2640 pieds de long et de $\frac{1}{15}$ de pouce de diamètre, si l'on observe en même temps les étincelles lumineuses à chaque bout du fil et au milieu, quand il est interrompu, on voit alors que les dernières se produisent avant les premières. On ne peut douter que ce retard ne soit du même genre, mais à un degré bien moindre que celui que l'on observe dans le blanc de baleine, la laque ou le soufre.

(1) Trans. philos. 1834, page 583.

Si dans l'expérience précédente on conserve une portion du milieu, et les deux parties extrêmes du fil de cuivre, puis, qu'on remplace les parties intermédiaires par des fils de fer et de platine, l'étincelle du milieu sera plus retardée qu'auparavant. En mettant à la place du fer un tube de verre de même diamètre, rempli d'eau, le retard sera encore plus grand. Il le sera encore davantage, en mettant à la place de l'eau du blanc de baleine. On voit donc que l'on peut augmenter le retard en employant des substances qui conduisent de plus en plus mal l'électricité. Tous ces effets permettent de suivre l'isolement depuis les corps mauvais conducteurs jusqu'aux métaux, pendant tout le temps que s'opère la décharge. Je dois faire remarquer en outre que toutes les forces ne sont pas dans le fil; dans le diélectrique, il en existe encore qui sont dues à l'induction. Si c'est l'air qui est le diélectrique, l'induction passe du fil dans les corps environnants par son intermédiaire, jusqu'à ce que la décharge soit effectuée. L'expérience suivante de M. Harris, dont j'ai déjà parlé, ne laisse aucun doute à cet égard. Si l'on tend un fil de platine dans un petit tube de verre, dans lequel on a raréfié l'air, et que l'on fasse passer une décharge à travers ce fil, il s'écoule autant d'électricité sinon plus, dans l'air que dans le fil. Pour expliquer ce fait, il faut admettre que la décharge est précédée d'une induction qui est d'autant plus forte que l'air est plus condensé. D'après cela, la rapidité de la décharge doit varier avec la charge et l'induction.

On voit donc que le premier effet d'un corps électrisé, sur les corps environnants, est de constituer les particules continues de ces derniers dans un état polarisé qui constitue l'induction.

Quand les particules contiguës polarisées ont le pouvoir de communiquer leurs forces, la conduction a lieu et la tension diminue. La conduction est donc une véritable décharge entre les particules voisines. Aussi, plus l'état de tension entre les particules est faible, plus le corps est bon conducteur.

1418. La chaleur exerce une grande influence sur la conduction; cependant elle n'affecte pas sensiblement, comme M. Harris l'a observé, celle des corps gazeux ou au moins l'air, tandis qu'elle diminue le pouvoir conducteur des métaux. D'un autre côté, il existe des corps, comme le sulfure d'argent et le fluorure de plomb, dont la chaleur augmente le pouvoir conducteur. Un morceau de cette dernière substance, fondue et refroidie, arrête le courant voltaïque, tandis que, chauffée, elle acquiert la conduction avant d'arriver à la chaleur rouge visible. On peut même en retirer des étincelles pendant qu'elle est encore solide. Aucune trace de décomposition ne se manifeste alors pendant le passage de l'électricité; celles qui se montrent paraissent être dues à l'humidité de l'air. Le periodure de mercure et le deutochlorure sont probablement dans ce cas.

§ II. *Décharge électrolytique.*

1419. La manière dont M. Faraday envisage la décharge électrolytique, ou la décomposition électro-chimique, a la plus grande analogie avec la théorie de Grothuss. Je vais indiquer les considérations à l'aide desquelles ce célèbre physicien est parvenu à établir ses vues à cet égard. Si l'on prend un long tube de verre étroit, rempli d'eau distillée, dans laquelle plongent les deux électrodes, on a des indications de la tension électrique qu'acquièrent les électrodes, par l'action inductive à travers l'eau servant de diélectrique, puisqu'on peut obtenir des étincelles. L'eau se trouve alors dans la condition d'un corps mauvais conducteur et mauvais isolant. Si elle isole, c'est en vertu de l'action inductive qui précède la décharge.

Si nous passons à la décharge électrique, à l'instant où les particules de l'eau sont polarisées, la décharge de particule à particule n'est plus, comme dans la conduction, un simple échange des pouvoirs qu'elles ont acquis par l'induction, mais bien une séparation de ces mêmes

particules qui s'opère de la manière suivante : les particules d'oxigène marchent dans une direction, en emportant avec elles la somme des forces qu'elles ont acquises pendant la polarisation ; les particules d'hydrogène se comportent de même dans une autre direction. Ce mouvement se continue jusqu'à ce que chaque particule rencontre la particule la plus rapprochée qui est dans le même état électrique que celles qu'elle a quittées. La réunion successive des forces mises en jeu constitue la décharge électrolytique, laquelle dépend nécessairement de la non conduction du diélectrique intermédiaire. L'opération se compose, donc de deux actes parfaitement distincts : l'induction et le transport. L'expérience suivante montre bien la condition des particules polarisées dans un diélectrique soumis à l'induction : si l'on met dans un vase de verre de l'essence de térébenthine rectifiée et bien claire, et qu'on y introduise deux fils terminés en boule ou en pointe, et passant à travers des tubes de verre, puis, que l'on répande dans le liquide de petits morceaux de fils de soie blanche, bien secs; si l'on électrise alors un des fils de métal avec une machine ordinaire, et que l'autre opère la décharge, la soie se réunit immédiatement et forme une bande de particules allant d'un fil à l'autre; si l'on cesse d'électriser, la bande disparaît, et les parties se dispersent de tous côtés. Avant l'interruption du courant, si l'on touche les parcelles avec une baguette de verre, on voit qu'elles adhèrent entre elles. L'adhésion, dans ce cas, est due à la polarité qu'acquiert chaque filament, polarité qui représente celle des molécules du diélectrique lui-même, pendant le passage du courant. Il faut remarquer que des électrolytiques ou des diélectriques différents exigent des intensités électriques initiales non égales pour leur décomposition. Cela peut dépendre du degré de polarisation que les particules exigent avant de commencer la décharge électrolytique. Ce degré est en rapport direct avec l'affinité chimique des substances employées, et probablement avec la capacité spécifique inductive des différents corps.

1420. Considérons maintenant le pouvoir conducteur électrolytique, ou la décharge par l'addition de substances aux diélectriques employés. Les acides sulfurique, phosphorique, oxalique et nitrique, augmentent, comme on sait, considérablement le pouvoir conducteur de l'eau, tandis que les acides tartrique et citrique n'augmentent que faiblement ce pouvoir; et d'autres, comme les acides acétique et borique, ne produisent pas de changement sensible.

De même, l'ammoniaque est sans effet, pendant que son carbonate, les alcalis caustiques et leur carbonate produisent un effet remarquable, ainsi que les sulfates de soude, le nitre et plusieurs autres sels solubles. Le percyanure de mercure et le sublimé corrosif n'en produisent aucun, de même que l'iode, la gomme et le sucre.

D'un autre côté, dans plusieurs cas, la substance ajoutée éprouve une action directe ou indirecte, et alors les phénomènes deviennent plus compliqués. Nous citerons particulièrement l'acide hydrochlorique, les protochlorures solubles, les iodures et l'acide nitrique, etc.

Dans d'autres cas, la substance ajoutée, quand elle n'est pas seule, n'est pas soumise au pouvoir de la batterie voltaïque, tandis que, lorsqu'elle est associée à l'eau, elle communique et reçoit les pouvoirs. Tels sont l'acide sulfureux, l'iode et le brôme, le chlorure d'arsenic, et probablement l'acide sulfurique et l'acide phosphorique.

Tous ces effets dépendent des relations qui existent entre les affinités en vertu desquelles les éléments de ces corps sont réunis, et les forces électriques auxquelles ces mêmes éléments sont soumis; relations qui, dans l'état actuel de la science, ne peuvent être déterminées *à priori*. Il faut donc en appeler à l'expérience, pour résoudre la question dans chaque cas particulier.

§ III. *Décharge de rupture.*

1421. M. Faraday appelle ainsi, comme je l'ai déjà dit, la

décharge qui a lieu sous la forme d'étincelle, d'aigrette et de lueur. L'étincelle ne se montre qu'autant qu'il y a un diélectrique placé entre les deux corps chargés d'électricité contraire; en diminuant la densité du diélectrique, on a la lueur. Les effets qui précèdent dans le diélectrique sont des effets d'induction, dont l'intensité, immédiatement avant que l'étincelle éclate, est la limite de l'influence que le diélectrique développe pour résister à la décharge. C'est donc une mesure du pouvoir conservateur du diélectrique. M. Harris est un des physiciens qui ont examiné avec le plus de soin les circonstances qui limitent cette action dans l'air. Il a reconnu (p. 123) que la quantité d'électricité varie exactement avec la distance entre les balles ou entre les points de décharge, c'est-à-dire, qu'il faut une quantité d'électricité double pour une distance double; qu'en faisant varier la pression ou la densité de l'air, les quantités d'électricité nécessaires pour produire la décharge à travers un intervalle constant varient exactement avec la densité de l'air.

Si la quantité reste la même tandis qu'on fait varier l'intervalle et la densité de l'air, on trouve que celle-ci est dans un rapport inverse avec l'autre, c'est-à-dire, que la même quantité passe à une distance double quand l'air est raréfié de moitié.

1422. Les variations de température dans l'air ne produisent non plus aucun changement dans la quantité d'électricité nécessaire pour opérer une décharge dans un espace donné.

M. Faraday admet que la décharge a lieu probablement, non quand toutes les particules ont atteint un certain degré de tension, mais quand la particule qui est la plus affectée a été exaltée au point d'être intervertie. Car, bien que toutes les particules qui se trouvent sur la ligne d'induction résistent à la charge et soient associées dans leurs actions, de manière à donner une somme de forces résistantes, néanmoins, quand il y en a une de déplacée hors de la direction, toutes doivent ouvrir la route, comme dans le cas d'une étincelle entre deux balles,

1423. La manière dont M. Faraday envisage l'induction en général, et en particulier dans les diverses décharges, a l'avantage de soumettre à la loi de continuité les actions électriques à distance, que l'on considérait, avant lui, comme s'exerçant indépendamment du diélectrique qui sépare les corps. Je sais qu'on peut lui objecter qu'il ne fait que reculer la difficulté, attendu que les molécules des corps n'étant pas juxtaposées, il existe entre elles des vides qui doivent transmettre les actions par influence, comme pourraient le faire les intervalles qui séparent les corps. Mais ce qu'il y a de réel dans la théorie de M. Faraday, c'est que les diélectriques exercent réellement une influence sur les actions à distance, et que c'est par leur intermédiaire qu'elles s'opèrent.

Voici l'appareil dont M. Faraday a fait usage pour déterminer le pouvoir conservateur d'un diélectrique comparé à celui de l'air :

a est un vase de verre (fig. 55) fermé au sommet et au fond, au moyen de deux plaques de cuivre *b*, *c*; *b* porte une boîte garnie avec une tige métallique glissante, terminée en bas par une petite boule de cuivre *s*, et au-dessus par un anneau. La plaque inférieure est placée sur un tube reposant sur un pied et muni d'une douille et d'un robinet d'arrêt *f*; une boule de cuivre *l* est fixée sur la plaque inférieure, le verre du vase est recouvert d'une couche de vernis à la gomme laque. Au moyen du tube on peut faire le vide dans l'intérieur et y introduire des gaz. L'autre partie de l'appareil consiste en deux supports isolants *h*, *i*, auxquels sont attachées deux boules de cuivre à travers lesquelles passent des baguettes mobiles *m*, *k*, terminées par des balles de cuivre. *n* est l'extrémité d'un conducteur isolé qui reçoit de l'électricité positive ou négative d'une machine. *p* et *o* sont deux fils de communication. *q* est un fil de métal qui, unissant les pieds, communique avec un appareil de décharge. Au moyen de cet arrangement, la décharge peut passer entre *s* et *l* ou entre S et L, à une distance fixe, selon qu'elle trouve plus de facilité à franchir l'intervalle *v*

que l'intervalle *u*. On introduit successivement un gaz dans le vase, et l'on cherche à balancer la décharge en un endroit avec celle qui s'opère dans l'autre; mais quand l'intervalle *u* est assez petit, toute la décharge peut y passer. En le faisant assez grand, la décharge a lieu en *v*. Quand le pouvoir résistant est le même en *u* qu'en *v*, la décharge a lieu tantôt d'un côté, tantôt de l'autre; dès lors, en prenant une distance fixe, par exemple celle de *u*, on peut comparer le pouvoir résistant ou isolant de l'air au pouvoir résistant d'un autre gaz. Voici les dimensions des boules avec lesquelles M. Faraday a expérimenté :

La boule	*s*	0,93 de pouce
	S	0,96
	l	2,02
	L	1,95

L'intervalle *v* était constamment égal à 0,62. Les boules *s* et S pouvaient être rendues positives ou négatives, en faisant communiquer le conducteur *n* avec l'un des conducteurs de la machine donnant les deux électricités. Il a trouvé que les gaz diffèrent les uns des autres, relativement aux effets produits. Voici les effets qu'il a obtenus en notant l'intervalle le plus petit, le plus grand et le moyen en *u* dans l'air; intervalle qui n'est jamais constant, attendu que la décharge a lieu, quand on est à la limite, en vertu de causes souvent bien légères qui échappent à un examen attentif.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus; les intervalles sont exprimés en fractions de pouce :

	Plus grande distance.	Plus petite distance.	Moyenne.
air *s* et S pos.	0,60	0,79	0,695
id. *s* et S nég.	0,59	0,68	0,635
oxigène *s* et S pos.	0,41	0,60	0,505
id. *s* et S nég.	0,50	0,52	0,510
azote *s* et S pos.	0,55	0,68	0,615
id. *s* et S nég.	0,59	0,70	0,645

	Plus grande distance.	Plus petite distance.	Moyenne.
hydrogène *s* et S pos.....	0,30	0,44 ...	0,370
id. *s* et S nég.....	0,25	0,30 ...	0,1275
acide carbonique *s* et S pos..	0,56	0,72 ...	0,640
id. *s* et S nég..	0,58	0,60 ...	0,590
gaz oléfiant *s* et S pos.....	0,64	0,86 ...	0,750
id. *s* et S nég.....	0,69	0,77 ...	0,730
gaz de charbon *s* et S pos...	0,37	0,61 ...	0,490
id. *s* et S nég...	0,47	0,58 ...	0,725
gaz acide muriatique *s* et S pos.	0,89	1,32 ...	1,105
id. *s* et S nég.	0,67	0,75 ...	0,720

Les expériences répétées dans diverses circonstances ont donné en général des résultats semblables quant à l'ordre, mais non précisément quant aux nombres. Ainsi, dans une autre série, on a obtenu :

hydrogène *s* et S pos.....	0,23 .	0,57 .	0,400
gaz acide carbonique *s* et S pos.	0,51 .	1,05 .	0,780
gaz oléfiant *s* et S pos.....	0,66 .	1,27 .	1,965

Lorsque les étincelles avaient lieu entre les boules dans l'air libre, il arrivait souvent qu'elles n'étaient pas droites et qu'elles suivaient une autre route que la distance la plus courte. En outre, quand elles avaient passé à l'un ou l'autre intervalle, elles avaient généralement une tendance à se reproduire au même intervalle, comme si les particules de l'air avaient été prédisposées pour laisser passer les étincelles. Aussi, en continuant à manœuvrer la machine rapidement, les étincelles se suivaient généralement à la même distance. Cet effet est peut-être dû soit à la chaleur de l'air échauffé par le passage de l'étincelle précédente, soit à la poussière qui voltige, soit à quelque chose d'inaperçu dans les décharges. En étudiant les résultats consignés dans le tableau précédent, on voit qu'il y a une différence très-remarquable, et qui est constante dans la direction de la décharge, quand l'électricité communiquée aux balles *s* et S change de signe; on voit que le rang de la variation est toujours

plus grand quand les petites balles sont positives que lorsqu'elles sont négatives; c'est ce qu'indiquent les résultats suivants, en prenant la différence entre la plus grande et la plus petite valeur :

	positif.	négatif.
Dans l'air le rang	0,19	0,09
oxigène	0,19	0,02
azote	0,13	0,11
hydrogène	0,14	0,05
acide carbonique	0,16	0,02
gaz oléfiant	0,22	0,08
gaz de charbon	0,24	0,12
acide muriatique	0,43	0,08

Plus loin je mettrai mieux en évidence la propriété des petites et des grandes boules pour faciliter ou s'opposer à la décharge selon qu'elles sont positives ou négatives.

1424. D'après ce que j'ai dit précédemment, on conçoit parfaitement que l'on puisse prendre l'intervalle moyen pour la mesure du pouvoir isolant des gaz. Les résultats obtenus présentent de grandes différences : ainsi sous la même pression et les petites balles étant chargées positivement, le gaz acide hydrochlorique a trois fois le pouvoir isolant du gaz hydrogène, et presque le double de l'oxigène, de l'azote et de l'air. Les différences obtenues ne peuvent être attribuées à la densité; car, quoique l'hydrogène soit inférieur à l'oxigène, celui-ci est bien au-dessus de l'azote et du gaz oléfiant, et du gaz acide carbonique; quoique bien plus pesant que le gaz oléfiant ou le gaz muriatique, il est inférieur à l'un ou à l'autre.

D'un autre côté, M. Harris a observé qu'en raréfiant l'air aux deux tiers de sa densité ordinaire, il a les mêmes pouvoirs isolants que l'oxigène, quoiqu'il n'ait ni la même densité ni la même pression.

Les différences observées dans les pouvoirs isolants du gaz dépendent donc de leur nature, et non de quel-

ques-unes de leurs propriétés physiques, comme on le croyait jadis.

Si l'on examine encore l'avant-dernier tableau, on trouve que les séries positives et négatives des intervalles moyens ne donnent pas la même différence. Les nombres négatifs sont inférieurs aux nombres positifs; mais l'ordre des résultats positifs et négatifs n'est pas le même. Ainsi, en comparant les nombres moyens qui représentent pour l'instant la tension isolante, on trouve que dans l'air, l'hydrogène, l'acide carbonique, le gaz oléfiant et l'acide muriatique, la tension s'élève plus quand la plus petite balle est rendue positive que lorsque elle est négative, tandis que dans l'oxigène, l'azote et le gaz de charbon, c'est l'inverse.

Les expériences précédemment décrites (1406) montrent que les gaz possèdent tous sensiblement la même capacité inductive. D'un autre côté, les résultats que je viens de faire connaître nous prouvent que ces mêmes gaz n'ont pas le même pouvoir isolant; il faut donc en conclure que ces deux propriétés sont essentiellement distinctes l'une de l'autre.

Quand on passe des diélectriques gazeux aux diélectriques liquides ou solides, tels que l'air, l'essence de térébenthine et la laque, si l'on augmente l'intensité de l'induction jusqu'à ce que la décharge ait lieu, on trouve qu'elle doit être plus élevée dans le liquide que dans le gaz, et plus élevée encore dans un solide que dans un liquide. Ces effets tendent donc à prouver que le pouvoir isolant est en rapport avec le nombre de particules, puisqu'il est d'autant plus grand que les corps sur lesquels on opère renferment plus de particules sous le même volume.

En considérant donc le pouvoir isolant dans les diélectriques non conducteurs jusqu'au point le plus élevé qu'ils puissent atteindre, on trouve que sa dernière limite est une décharge de rupture, laquelle se présente à nous, comme on sait, sous les formes d'étincelle et de lueur.

§ IV. *Étincelle ou lumière électrique.*

1425. M. Faraday considère l'étincelle comme une décharge ou affaiblissement de l'état de polarité inductive dans lequel les particules d'un diélectrique ont été mises par l'action d'un corps électrisé. Toutes les particules préalablement polarisées retournent à leur premier état normal dans l'ordre inverse de celui dans lequel elles l'avaient quitté. La marche de l'étincelle ou de la décharge dépend évidemment du degré de tension que possèdent les particules dans la ligne de décharge.

L'instant de la décharge est probablement déterminé, suivant lui, par la molécule du diélectrique qui, d'après les circonstances, atteint rapidement le maximum de tension. Dans les cas où la tension passe d'un conducteur dans un autre, cette molécule est à la surface de l'un d'eux. Il pense aussi que la tension de cette particule qui est nécessaire pour produire la décharge, est une quantité constante, indépendante de la forme de la partie du conducteur en contact avec elle, que ce soit une balle ou une pointe, et de l'épaisseur ou de la profondeur du diélectrique dans lequel se développe l'induction.

Je me borne à énoncer l'opinion de M. Faraday sur les causes qui déterminent la production de l'étincelle sans chercher à la combattre ni à la défendre, attendu que les faits manquent pour connaître au juste la vérité.

1426. Les caractères de l'étincelle varient dans différents gaz, peut-être en raison de la chaleur dégagée, et du rapport spécifique des forces inductives propres à leurs particules.

Dans l'air, les étincelles ont cette lumière intense et cette couleur bleue si connue; elles ont souvent des parties claires ou obscures dans leur trajet, quand la quantité d'électricité qui passe est peu considérable. Dans l'azote elles sont belles et elles ont la même apparence générale que dans l'air, mais elles ont décidément une couleur bleue ou pourpre, et elles sont accompagnées

d'un son très-remarquable. Dans l'oxigène les étincelles sont plus blanches que dans l'air ou dans l'azote, mais non aussi brillantes. Dans l'hydrogène elles présentent une belle couleur cramoisie, qui n'est pas due à sa faible densité, puisque ce caractère s'efface quand l'atmosphère est raréfiée; le son est faible, ce qui est une conséquence de sa condition physique. Dans le gaz acide carbonique, la couleur est semblable à celle de l'étincelle dans l'air, mais avec un peu de couleur verte, et les étincelles sont plus irrégulières. Dans le gaz hydro-chlorique sec, l'étincelle est presque toujours blanche sans partie obscure.

Dans l'oxide de carbone, l'étincelle est quelquefois verte, rouge, et tantôt l'une, tantôt l'autre. Quelquefois on aperçoit des parties noires dans la ligne de l'étincelle. Ces variétés de caractère sont dues à un rapport direct des pouvoirs électriques avec les particules du diélectrique à travers lequel a lieu la décharge, et ne doivent pas être considérées comme les simples résultats d'une ignition accidentelle.

L'étincelle peut s'obtenir dans divers liquides, comme l'essence de térébenthine, l'huile d'olive, la résine, le verre. On peut l'obtenir également dans le blanc de baleine, l'eau, etc.

1427. J'ai étudié, avec mon fils Edmond, le développement de l'étincelle, à mesure que la distance entre les boules chargées d'électricité contraire augmente. Voici le résultat de nos observations :

Quand on examine avec attention l'étincelle produite par la décharge de deux conducteurs chargés d'électricité contraire, qui leur est fournie continuellement, comme les conducteurs de la machine de Nairne, on observe les effets suivants : lorsque les deux conducteurs sont terminés par deux boules d'égal diamètre, placées à deux ou trois lignes de distance, l'étincelle est ainsi constituée : du côté négatif, un point lumineux bien prononcé; du côté positif, également un point lumineux, mais moins fort, et entre les deux une partie sombre violacée. Si on

vient à écarter les conducteurs, la partie lumineuse négative se sépare en deux parties, qui s'éloignent de plus en plus à mesure que l'on écarte les deux boules. L'étincelle est alors composée de trois parties lumineuses et de deux parties sombres violacées. A mesure que l'on écarte les boules, la partie lumineuse qui s'est détachée du conducteur négatif se rapproche de la lueur positive, et finit par se joindre à elle. Alors il ne reste plus qu'une très-faible lueur du côté négatif, et une très-forte lueur du côté positif. Les étincelles acquièrent ensuite une telle intensité qu'il est difficile d'apercevoir aucune différence entre leurs parties.

§ V. *De l'aigrette électrique.*

1428. Il y a plusieurs moyens d'obtenir ce mode de décharge. Il suffit pour cela de fixer à angle droit sur le conducteur positif d'une machine électrique une tige métallique de quelques lignes de diamètre, et arrondie par le bout extérieur.

La main, ou toute autre grande surface conductrice, peut être approchée vers l'extrémité pour augmenter la force inductive. L'aigrette obtenue avec une puissante machine au moyen d'une balle d'environ dix-huit millimètres de diamètre, fixée à l'une des extrémités d'une longue tige de cuivre, a l'apparence de la forme représentée fig. 56. Une petite partie conique, brillante, paraît au milieu de la balle, laquelle se projette loin d'elle, directement à une petite distance; elle se brise soudainement en une large aigrette de pâles ramifications, ayant un mouvement tremblé, et étant accompagnée en même temps d'un claquement sourd et faible. L'aigrette paraît continue; mais M. Wheastone a montré que tout le phénomène consiste en décharges successives et intermittentes.

En faisant usage d'une balle plus petite, l'aigrette est plus faible, et le son, quoique moins marqué, est plus continu. En se servant d'un fil à bout arrondi, l'aigrette est encore plus faible, mais séparable. Le son, quoi-

que plus faible, est plus élevé en hauteur et rend une note musicale distincte. Le son est dû en réalité aux décharges successives qui, arrivant chacune à des intervalles presque égaux, font entendre une note définie, dont le ton monte avec l'accroissement de rapidité et la régularité des décharges intermittentes. Ce ton donne une mesure facile et exacte des intervalles.

Ainsi, lorsqu'en approchant la main d'une baguette ou d'une balle avancée, la hauteur du ton produit par la décharge d'une aigrette s'accroît, l'effet nous avertit que nous avons augmenté l'induction, et par suite la rapidité des alternatives de charge et de décharge. En général, si l'on fait usage de fils avec des extrémités plus fines, on obtient des aigrettes plus petites, et le son est à peine perceptible. Lorsque le son cesse, la lumière devient continue comme une lueur.

1429. L'aigrette peut être considérée comme une décharge entre un corps mauvais conducteur et un corps non conducteur, ou bien entre un corps conducteur et un corps qui ne l'est pas. Dans des circonstances ordinaires, l'aigrette est une décharge entre un conducteur et l'air.

Tout porte à croire, suivant M. Faraday, que l'aigrette est une étincelle de l'air, une diffusion de la force électrique dans la matière, non par conduction, mais par une décharge de rupture.

L'aigrette et l'étincelle se confondent graduellement l'une dans l'autre. En rendant une petite balle positive au moyen d'une bonne machine électrique, et approchant de cette balle une autre balle plus forte, non isolée, on peut suivre facilement le passage de l'étincelle à l'aigrette.

Quand une aigrette électrique d'un pouce à six pouces, ou plus, jaillit dans l'air, elle a la forme fig. 56; mais si l'on approche la main ou un autre corps, elle prend les formes fig. 57, 58, 59. On remarque dans ces figures la forme courbe des lignes de force inductive existant avant la décharge.

Dans l'air raréfié, les apparences de l'aigrette varient

beaucoup, selon les circonstances. Quelquefois une aigrette peut être composée de six à sept branches, larges, très-lumineuses, d'une couleur pourpre, en quelques parties distantes de plusieurs centimètres.

1430. L'aigrette peut être obtenue non-seulement dans l'air et les gaz, mais aussi dans des milieux plus denses. M. Faraday l'a obtenue dans de l'huile de térébenthine, en plongeant le bout d'un fil de métal passant à travers un tube de verre dans le liquide contenu dans un vase de métal. L'aigrette était petite et très-difficile à obtenir; les ramifications étaient simples et divergeaient beaucoup les unes des autres. La lumière était très-faible, et il fallait une chambre bien obscure pour l'observer. L'aigrette a, dans différents gaz, des caractères spécifiques qui indiquent un rapport avec les particules de ces corps, même à un degré plus fort que l'étincelle. Cet effet contraste fortement avec la non variation obtenue dans l'aigrette avec diverses substances, telles que le bois, le carton, le charbon, le nitre, l'acide citrique, l'acide oxalique, le carbonate de potasse, la potasse fondue, une forte solution de potasse, de l'acide sulfurique, du sulfure d'antimoine et de l'hématite. On n'a dans ces corps d'autre variation, dans le caractère de l'aigrette, que celle qui dépend de leur conductibilité plus ou moins parfaite. Voici les effets observés dans plusieurs gaz, à différentes pressions, avec des surfaces chargées positivement :

1431. L'effet général de la raréfaction est le même pour tous les gaz. Il passe d'abord des étincelles; celles-ci se convertissent graduellement en aigrettes, qui deviennent plus grandes et plus distinctes dans leurs ramifications, jusqu'à ce que, dans une raréfaction plus grande, ces dernières commencent à se fondre l'une dans l'autre et finissent par donner un rayon de conducteur à conducteur. Des rayons latéraux se dirigent ensuite des conducteurs sur le verre du vase, et sont remplacés par une lueur constante qui couvre le fil de décharge. Les phénomènes varient avec les dimensions du vase, le degré de raré-

faction et la décharge de l'électricité de la machine. Quand cette dernière s'opère par des étincelles successives, elles sont très-belles; l'effet d'une étincelle d'une petite machine est égal et surpasse souvent celui d'une machine plus puissante agissant constamment.

1432. Passons en revue différents gaz.

Air. On obtient facilement des aigrettes positives pourpres à des pressions ordinaires. Quand l'air est raréfié, les ramifications sont très-longues et remplissent le globe. La lumière s'accroît beaucoup et présente une belle couleur pourpre avec une teinte quelquefois rose.

Oxigène. A des pressions ordinaires, l'aigrette est très-comprimée et d'une couleur blanche foncée. Dans l'oxigène raréfié, la forme et l'apparence sont meilleures, la couleur un peu purpurine; mais tous les caractères sont bien pâles comparativement à ceux dans l'air.

L'*azote* donne des aigrettes avec une grande facilité à la surface positive, beaucoup plus que tout autre gaz: elles sont presque toujours belles sous le rapport de la forme, de la lumière et de la couleur, et dans l'azote raréfié elles sont magnifiques. Elles surpassent les décharges dans tout autre gaz pour la quantité de lumière dégagée.

L'*hydrogène*, à des pressions ordinaires, donne une plus belle aigrette que l'oxigène, mais inférieure à celle de l'azote; la couleur est d'un vert gris. Dans l'hydrogène raréfié, les ramifications sont très-distinctes et d'une belle forme, mais d'une couleur pâle et d'apparence douce et veloutée et nullement égale à celle de l'azote. Dans l'état de la plus grande raréfaction, la couleur est d'un vert gris.

Oxide de carbone. Les aigrettes sont plus difficiles à produire dans ce gaz, et, sous ce rapport, le contraste avec l'azote est plus grand. Elles sont en général courtes, fortes, d'une couleur verte et possèdent le caractère de l'étincelle; car en se produisant aux extrémités positive et négative, il y a souvent un intervalle obscur entre les deux aigrettes; en outre, le son rapide de l'étincelle qui se produit semble indiquer que la décharge est soudaine

à travers le gaz, et possède, sous ce rapport, le caractère d'une étincelle. Dans le gaz oxide de carbone raréfié, les forces sont supérieures; mais la lumière est très-faible et de couleur grise.

Le gaz acide carbonique produit une aigrette très-faible à des pressions ordinaires, sous le rapport de l'étendue, de la lumière et de la couleur. Dans l'acide carbonique raréfié, l'aigrette présente une meilleure forme; mais la lumière est faible et d'un vert pourpre assez faible, qui varie selon la pression et d'autres circonstances.

Gaz hydrochlorique. Il est très-difficile d'obtenir l'aigrette dans ce gaz à des pressions ordinaires. En augmentant graduellement la distance des bouts arrondis, les étincelles cessent tout à coup, quand l'intervalle est d'environ deux centimètres, et la décharge qui a lieu à travers le gaz est silencieuse et obscure. Quelquefois on peut obtenir, pendant quelques instants, une aigrette très-courte, mais elle disparaît de nouveau très-rapidement.

1433. En résumé, nous voyons que dans le gaz hydrochlorique l'aigrette est difficile à obtenir, et qu'il y a presque une décharge obscure, participant de la rapidité d'action de l'étincelle; que dans l'azote, l'étincelle change rapidement son caractère en celui d'une aigrette; que dans le gaz acide carbonique, il paraît facile de produire l'étincelle de décharge, tandis que ce gaz diffère de l'azote par la facilité que possède ce dernier de former des aigrettes, et de l'acide hydrochlorique par la facilité de continuer l'étincelle. Ces différences viennent à l'appui des observations déja faites sur l'étincelle dans différents gaz, et des conséquences que l'on peut en déduire relativement au rapport des forces électriques avec la matière. Le caractère de l'azote, par rapport à la décharge électrique, doit avoir une influence importante sur la forme et même la présence de la lumière. Ce gaz produisant plus rapidement les coruscations au moyen desquelles il étend la décharge à une plus grande distance que les autres gaz, il pourrait se faire, comme le pense M. Faraday

qu'en raison de sa présence dans l'air, dont il forme les quatre cinquièmes, le pouvoir qu'il possède ait un rapport particulier avec son usage électrique dans la nature.

Nous voyons aussi que dans tous les gaz les diverses décharges de rupture peuvent se rattacher les unes aux autres, de telle manière qu'on les suit graduellement, quand elles passent de l'une à l'autre, depuis l'étincelle jusqu'à la lueur, et même jusqu'à un état plus éloigné encore, qu'on peut appeler décharge obscure dont je parlerai ci-après; on reconnaît en même temps que chaque décharge possède un caractère spécifique pendant tout le temps qu'elle prédomine.

§ VI. *Différence de décharge aux surfaces conductrices positive et négative.*

1434. Il y a une différence très-frappante quand on observe l'aigrette de décharge dans l'air aux surfaces positive et négative : c'est un fait établi depuis longtemps. L'intelligence de cette différence est de la dernière importance, pour la physique électrique, puisqu'elle ne peut manquer de jeter un grand jour touchant l'action moléculaire des diélectriques sur les phénomènes d'induction.

On disait jadis qu'une pointe chargée positivement donnait des aigrettes dans l'air, tandis que la même pointe chargée négativement donnait une étoile ou point lumineux; mais si des pointes métalliques s'avancent dans l'air libre, leur lumière positive et négative diffère très-peu en apparence, et l'on ne peut observer entre elles une différence qu'après un examen attentif. L'effet varie beaucoup suivant diverses circonstances. On peut établir ainsi le fait : si l'on se sert d'un fil métallique avec une extrémité arrondie dans l'air libre pour produire l'aigrette de décharge, alors les aigrettes obtenues quand le fil est chargé négativement sont très-faibles et très-petites en comparaison de celles qui sont produites quand la décharge est petite. Si l'on considère une grande balle de métal en

rapport avec la machine électrique qui lui fournit de l'électricité positive, et qu'on en approche graduellement une pointe non isolée, on voit sur celle-ci, quand elle est à une grande distance, une étoile qui, devenant plus brillante, ne change pas de forme jusqu'à ce qu'elle soit tout près de la balle; si la balle est chargée négativement, la pointe, à une distance considérable, présente une étoile comme précédemment; mais quand on la rapproche jusqu'à la distance de quelques centimètres, il se forme une aigrette qui s'étend, et quand elle est encore plus près, à trois ou quatre millimètres, cette aigrette cesse et il passe des étincelles brillantes. Ces effets présentent toute la série des différences, et ils semblent montrer à la fois que la surface négative tend à conserver, sans changement, son caractère de décharge, tandis que la surface positive, dans de pareilles circonstances, admet de grandes variations.

1435. Quand les aigrettes négative et positive distinctes sont produites simultanément dans l'air, la première a presque toujours une forme contractée, ayant beaucoup de ressemblance avec la forme que présente l'aigrette positive elle-même, quand elle est influencée par le voisinage latéral des parties positives agissant par induction. Ainsi une aigrette sortant d'une pointe dans l'angle rentrant d'un conducteur positif, a la forme comprimée, fig. 60. Le caractère de l'aigrette négative n'est pas affecté par la nature chimique des substances des conducteurs, mais seulement par leur pouvoir plus ou moins conducteur.

La raréfaction de l'air ordinaire autour d'une balle négative ou d'une pointe émoussée facilite le développement de l'aigrette négative, l'effet paraît plus grand que dans l'aigrette positive. Dans l'air, la supériorité de l'aigrette positive est bien connue; dans l'azote, elle est aussi grande et même plus que dans l'air. Dans l'hydrogène, l'aigrette positive perd une partie de sa supériorité, car elle n'est pas aussi marquée que dans l'azote et dans l'air; tandis que l'aigrette négative ne paraît pas af-

fectée; dans l'oxigène, l'aigrette positive est comprimée et faible, tandis que l'aigrette négative ne faiblit pas. Dans le gaz oxide de carbone les aigrettes sont difficiles à produire comparativement à celles qu'on obtient dans l'azote; l'aigrette positive n'a pas un caractère bien supérieur à l'aigrette négative à des pressions ordinaires ou inférieures. Dans le gaz acide carbonique on voit aussi ce rapprochement de caractère. Dans le gaz hydrochlorique, l'aigrette positive est très-peu supérieure à l'aigrette négative, et toutes les deux sont difficiles à produire.

En résumé, on trouve que, bien qu'il y ait une différence générale en faveur de l'aigrette négative sur l'aigrette positive, cette différence atteint son maximum dans l'azote et l'air; tandis que dans le gaz acide carbonique, le gaz hydro-chlorique, le gaz oxide de carbone, elle diminue et devient nullé. Tous ces effets paraissent donc dépendre des rapports qui existent entre les forces électriques et les molécules de la matière soumises à leur action.

1436. Je vais continuer à exposer les particularités des décharges positives et négatives, sous la forme d'étincelles ou d'aigrettes, en employant des sphères de différents diamètres.

Si l'on fait passer des étincelles entre deux sphères de diamètres inégaux, les étincelles sont beaucoup plus fortes quand la petite boule est positive et la grande négative, que lorsque le contraire a lieu. Dans le premier cas, les étincelles peuvent avoir jusqu'à deux ou trois décimètres de long; tandis que dans le second, elles n'ont que deux ou trois centimètres.

Voici les expériences que j'ai faites à ce sujet :

Boule de soixante-quinze millimètres de diamètre, rendue négative, et petite boule de dix-huit millimètres de diamètre, rendue positive au moyen des conducteurs de la machine de Nairne; limite de l'écartement pour produire les étincelles, soixante-cinq millimètres. En faisant l'expérience d'une manière inverse, limite, vingt-neuf millimètres.

Petite boule en communication avec le sol, et grande boule avec le conducteur positif d'une forte machine; limite des étincelles, quarante-cinq millimètres. Expérience inverse, cent vingt-cinq millimètres.

En prenant pour corps induit un miroir parabolique, l'étincelle part à trois décimètres. L'expérience prouve, comme on l'avait déjà observé, que lorsque l'étincelle commence à éclater entre deux conducteurs, si l'on éloigne peu à peu ces deux conducteurs, on finit par faire parcourir à l'étincelle un espace beaucoup plus considérable que si l'on eût agi immédiatement. Il résulte de là que le passage de la décharge à travers l'air prédispose de plus en plus ses molécules composantes à transmettre le courant.

Voyons maintenant les différences qui existent entre les aigrettes dans diverses circonstances.

1437. On appelle étincelle ou aigrette positive ou négative celle qui provient d'une surface électrisée positivement ou négativement, lorsque cette surface est inductrice. Suivant M. Wheastone, l'étincelle commence à la surface chargée, c'est-à-dire là où est la tension maximum.

On conçoit, d'après ce que je viens de dire, qu'il doit exister une grande différence selon que les balles sont inductrices ou induites : une balle induite rendue positive donne une étincelle presque deux fois aussi longue que celle qui est produite quand la boule est inductrice et positive; il se manifeste dans les mêmes circonstances, quoique d'une manière moins marquée, une différence semblable avec des balles électrisées négativement, selon qu'elles sont inductrices ou induites.

L'expérience suivante, qui est due à M. Faraday, montre les diverses phases de décharges entre des boules de diverses dimensions, et comment l'étincelle se change en aigrette. L'excitateur dont il a fait usage est représenté fig. 61; les deux boules de cuivre A et D ont cinq centimètres de diamètre; les boules B et C cinq millimètres; les fourches L et R sont également de

cuivre; la distance entre chacune des grandes boules et la petite correspondante est d'un décimètre trente-cinq centimètres. On met la fourche L en communication avec le conducteur positif ou négatif d'une machine électrique, et la fourche L' avec un conducteur non isolé. Les excitateurs étant mobiles, les distances *n* et *o* peuvent varier à volonté. Voici quelques-uns des résultats obtenus : les intervalles *n* et *o* étant égaux à vingt-quatre millimètres, quand les boules A et B étaient inductrices positivement, la décharge avait lieu en *n*, le plus souvent avec une aigrette; quand les boules étaient inductrices négativement, la décharge avait encore lieu en *n*, mais avec une aigrette constante. Les distances entre les boules étant d'un centimètre huit millimètres, dans le premier cas, toute la décharge se produisait encore en *n* au moyen d'une aigrette positive; dans le second, il en était encore de même.

M. Faraday a conclu des expériences précédentes, et d'autres que je ne puis rapporter ici, parce que je serais obligé de donner trop d'étendue à ce chapitre : 1° que de deux surfaces également conductrices, placées dans l'air et électrisées au même degré, l'une positivement, l'autre négativement, celle qui est négative se décharge dans l'air à une tension un peu plus basse que celle qui est nécessaire pour la balle positive; 2° que lorsque la décharge a lieu, il s'en dégage davantage, dans le même temps, de la surface positive que de la surface négative.

Supposons maintenant qu'au moyen d'une forte machine, on tire des aigrettes ou des étincelles d'une petite boule, on peut concevoir, jusqu'à un certain point, suivant M. Faraday, la différence observée, selon que cette boule est positive ou négative; en effet, « quand « elle est positive, elle donne une étincelle plus grande et « plus puissante que lorsqu'elle est négative; en fait, l'é- « tincelle, quoique emportant plus d'électricité à la fois, « commence à une tension qui n'est qu'un peu plus forte, « si même elle l'est réellement. D'un autre côté, si elle « est négative, quoique la décharge puisse commencer à

« un degré plus faible, elle ne continue que pendant une « très-courte période, l'électricité ne passant chaque fois « qu'en très-petite quantité. Ces circonstances sont en « rapport direct; car l'étendue que peut atteindre l'étin- « celle positive, et la dimension et l'étendue de l'aigrette « positive sont des conséquences de la faculté que possède « la surface positive de fournir dans une décharge une « forte quantité d'électricité. »

1438. Des expériences semblables à celles que je viens de faire connaître, ont été faites dans différents gaz. L'appareil fig. 62 diffère de l'appareil fig. 61, en ce que l'excitateur se trouve dans une cloche de verre où l'on peut introduire des gaz après avoir fait le vide. Les boules A et B sont fixées à deux tiges passant dans des boîtes à cuir, et réunies au moyen d'un fil *u*, qui communique avec le conducteur d'une machine électrique. Ces tiges étant graduées, il est facile avec une échelle de reconnaître la distance entre les boules A et B, et les boules inférieures mises en communication avec le plateau inférieur de métal, non isolé, au moyen d'une fourche métallique.

Pour comparer les effets de la décharge dans l'air et dans différents gaz, on fait usage d'un autre appareil, en rapport avec le précédent fig. 63, et formé de deux petites balles E et F, fixées à des tiges métalliques mobiles, qui permettent d'augmenter ou de diminuer la distance *p*.

Les résultats consignés dans le tableau suivant s'expliquent d'eux-mêmes; toute la décharge avait lieu dans l'air, quand l'intervalle était moindre que celui qui est indiqué dans la première ou la troisième colonne; toute la décharge au contraire avait lieu dans le gaz, quand l'intervalle dans l'air était plus grand que dans la seconde ou la quatrième colonne; à des distances intermédiaires, la décharge avait quelquefois lieu tantôt d'un côté, tantôt de l'autre.

INTERVALLE CONSTANT n entre B et D = 1 pouce.	INTERVALLE p EXPRIMÉ EN FRACTIONS DE POUCE.			
	Quand la petite balle était inductrice et positive, la décharge avait lieu		Quand la petite balle était inductrice et négative, la décharge était toute	
	en p dans l'air auparavant.	en n dans le gaz ensuite.	en p dans l'air auparavant.	en n dans le gaz ensuite.
	$p =$	$p =$	$p =$	$p =$
dans l'air	0,40	0,50	0,28	0,33
dans l'azote	0,30	0,65	0,31	0,40
dans l'oxigène	0,33	0,52	0,27	0,30
dans l'hydrogène	0,20	0,40	0,22	0,24
dans l'oxide de carbone	0,20	0,90	0,20	0,27
dans le gaz acide carbonique	0,64	1,30	0,30	5,45

Ces résultats nous montrent, comme ceux qui ont été précédemment obtenus, que les gaz restreignent la décharge dans des proportions très-différentes. S'ils ne sont pas aussi forts que les premiers, M. Faraday attribue la différence à ce que la cloche de verre n'étant pas vernie, agissait d'une manière irrégulière, et aux dimensions relatives des boules de décharge dans l'air. En effet, dans le premier cas, elles ont des dimensions très-différentes, tandis que, dans le cas présent, elles ont les mêmes dimensions.

En rendant égaux les intervalles n et o, fig. 62, on trouve les résultats suivants, relativement à la plus grande facilité de décharge dans la petite boule, selon qu'elle est positive ou négative.

Air : Inter. = 0,4 po.; A et B inducteurs et positifs, décharge presque égale en n et o; A et B inducteurs négatifs, décharge plus forte en n par une aigrette négative.

Inter. = 0,8 po.; A et B induc. positifs, décharge en n par une aigrette; en sens inverse, décharge en n par une aigrette.

Il est donc douteux que la balle négative ait une plus grande facilité que la balle positive.

Azote : Inter. = 0,4; A et B inducteurs positifs, décharge aux deux inter., plus forte en n avec des étincelles po-

sitives ; A et B inducteurs négatifs, décharge plus forte en *o* par une étincelle positive. Il paraît que la petite balle produit une décharge plus rapide.

Oxigène : Inter. = 0,4; A et B inducteurs positifs, décharge par une aigrette ; inducteurs négatifs, décharge plus forte en *n* avec aigrette négative, et la petite balle paraît donner la décharge la plus rapide.

Hydrogène : Inter. = 0,4; A et B, inducteurs positifs, décharge presque égale ; inducteurs négatifs, décharge plus forte en *o*, et la décharge positive paraît plus facile.

Oxide de carbone : mêmes conditions, la décharge presque toute en *o* avec une étincelle négative. A et B ind. nég. ; presque toutes la décharge en *n* avec une étincelle négative. La décharge négative est plus facile.

Gaz acide carbonique : mêmes conditions ; décharge presque entière en *o*. A et B induct., décharge toute en *n*.

Il résulte de ces expériences que la petite balle négative a un avantage décidé pour faciliter la décharge de rupture sur la petite balle positive, dans quelques gaz, comme l'acide carbonique et l'oxide de carbone, tandis que dans quelques autres c'est la balle positive qui peut être supérieure. Tous ces résultats ont été obtenus sensiblement sous la même pression atmosphérique.

1439. Des expériences ont été faites également sur les mêmes gaz, relativement aux changements de l'étincelle en aigrettes dans l'air libre. Voici les résultats obtenus quand l'aigrette paraît mêlée avec l'étincelle :

GAZ.	DÉCHARGE ENTRE LES BALLES B D.		DÉCHARGE ENTRE LES BALLES A C.	
	Petite balle B inductrice *positive.*	Petite balle B inductrice *négative.*	Grande balle A inductrice *positive.*	Grande balle A inductrice *négative.*
Air	0,55	0,30	0,40	0,75
Azote	0,30	0,40	0,52	0,41
Oxigène	0,70	0,30	0,45	0,72
Hydrogène	0,20	0,10		
Gaz de charbon	0,13	0,30	0,30	0,14
Acide carbonique	0,82	0,43	1,60	au-dessus de 1,80, il n'y avait pas d'esp.

On obtient des étincelles à des intervalles beaucoup plus grands que ceux qui sont indiqués dans le tableau. Les nombres qui y sont consignés représentent seulement les distances au-dessous desquelles la décharge est une étincelle.

1440. Les expériences précédentes ont des rapports avec celles que le professeur Belli de Milan a faites dans le but d'étudier la dissipation de l'électricité positive et négative dans l'air; je crois donc devoir exposer ici les résultats que ce physicien a obtenus :

Un électromètre à cadran ayant été fixé sur un conducteur horizontal, M. Belli trouva pour moyenne de trois expériences, qu'après avoir électrisé le conducteur positivement, l'électromètre mettait 10′ 2″ à descendre de 20° à 10°, tandis que lorsque le conducteur était chargé négativement, le même électromètre ne mettait que 4′ 30″ à parcourir les dix mêmes degrés. Dans les deux séries d'expériences, l'état de l'atmosphère n'avait pas changé, la disposition des appareils était la même; enfin, toutes les circonstances étaient semblables dans les deux cas. D'autres séries d'expériences ayant donné les mêmes résultats, M. Belli en a conclu que dans l'air ordinaire et aux tensions pour lesquelles on se sert ordinairement de l'électromètre à cadran, tensions qui déterminent des étincelles longues de une à deux lignes, l'électricité négative se dissipe plus promptement que l'électricité positive.

Rien n'étant changé dans l'appareil, on ajusta seulement une pointe métallique à l'une des extrémités du conducteur isolé. Ce conducteur ayant été électrisé positivement, la tige de l'électromètre descendit rapidement à six degrés. A la déperdition qui avait eu lieu jusqu'à ce moment par la pointe, avec un bruit perceptible et une lumière visible dans l'obscurité, succéda une déperdition lente, semblable à celle qui avait lieu sans la pointe. Avec de l'électricité négative, la tige de l'électromètre descendit rapidement à quatre degrés et demi, et ce ne fut que

lorsqu'elle fut parvenue à ce point que la déperdition commença à s'opérer lentement.

Ces résultats, qui ont été confirmés encore par d'autres expériences, viennent à l'appui des conséquences auxquelles M. Belli avait été conduit d'abord.

Au lieu d'adapter la pointe métallique au conducteur lui-même, on le plaça vis-à-vis de son extrémité sur un pied non isolé. Le résultat prouva encore la différence qui existe entre le pouvoir absorbant et émissif des pointes pour chacune des deux électricités.

M. Belli a déduit enfin des faits qu'il a observés : 1° que la force ordinairement moindre que possède l'électricité négative, comparée à celle de l'électricité positive, fournie par la même machine, ne dépend pas seulement de la disposition moins avantageuse des conducteurs destinés à recueillir la première électricité, mais aussi de la déperdition plus facile qu'elle éprouve; 2° que l'on ne peut admettre le principe mis en avant par M. Trémery pour expliquer le phénomène de la carte percée au moyen d'une étincelle électrique, principe d'après lequel l'électricité positive se propagerait dans l'air plus facilement que l'électricité négative, puisque les faits observés effectivement par M. Belli tendent à prouver que l'électricité négative se propage plus facilement que l'électricité positive.

§ VII. *Décharge lumineuse.*

1441. Cette décharge, qui se montre sous la forme de lueur souvent très-belle, semble dépendre d'une charge rapide et presque continue de l'air qui entoure le conducteur. La diminution de la surface électrisée produit cet effet. A mesure que la boule ou la tige arrondie qui est électrisée positivement diminue, les aigrettes disparaissent et sont remplacées par une lueur phosphorescente continue qui couvre tout le bout du fil; avec des tiges très-petites, et aussi avec des pointes coniques émoussées, les lueurs ont lieu plus rapidement; avec

une pointe très-fine, on ne peut obtenir l'aigrette à l'air libre, mais seulement la lueur.

L'augmentation de pouvoir dans la machine tend à produire la lumière. La raréfaction de l'air favorise merveilleusement les phénomènes de la décharge lumineuse.

Il est très-difficile d'obtenir une lumière négative dans l'air à des pressions ordinaires : M. Faraday n'a pu l'avoir avec une tige de o, 3 p. de diamètre, ni dans des tiges plus petites. La lueur se présente dans tous les gaz qu'il a observés : l'air, l'azote, l'oxigène, l'hydrogène, le gaz oxide de carbone, l'acide carbonique, l'acide hydro-chlorique, l'acide sulfureux et l'ammoniaque. Il pense l'avoir obtenue dans l'huile de térébenthine, mais elle est très-faible et très-peu visible. La lueur est toujours accompagnée d'un souffle venant soit directement de la partie lumineuse, ou se portant directement vers elle. Le premier cas est le plus général; il a lieu même quand la lueur se présente autour d'une boule de dimensions considérables.

Les diverses circonstances qui favorisent sa production sont faciles à étudier; ainsi je n'en fais pas mention ici.

Voyons maintenant le rapport qui lie la lueur à l'aigrette et à l'étincelle, selon que les surfaces électrisées sont positives ou négatives. Si l'on commence par l'étincelle, elle devient aigrette plus rapidement quand la surface où commence la décharge est négative que lorsqu'elle est positive.

L'aigrette positive devient une lueur bien avant que l'aigrette négative ait lieu.

M. Faraday pense qu'il est probable qu'en examinant avec attention le passage d'un ordre de décharge à un autre, on trouvera que chaque gaz présente des résultats particuliers dépendant du mode dont les particules prennent la condition électrique polaire.

Tous les effets observés tendent à montrer que la lueur est due à une charge ou à une décharge continue de l'air, laquelle est accompagnée, dans le premier cas,

d'un courant venant de la lueur, et dans le second d'un courant qui se dirige vers elle.

Dès l'instant que l'air environnant vient sur le conducteur électrisé et atteint le point où la tension est élevée à un degré suffisant, il se charge et se meut ensuite sous l'influence des forces auxquelles il est soumis. Pendant ce même temps, il ouvre la route à d'autres particules qui se chargent à leur tour, et ainsi de suite; d'où résulte un courant.

§ VIII. *Décharge obscure.*

1442. L'expérience suivante et les effets qui en résultent, suffisent pour montrer ce que l'on entend par décharge obscure.

Soient deux tiges de cuivre de 8 millim. de diamètre, entrant dans une cloche de verre par une de leurs extrémités et mises ensuite en contact; on raréfie l'air dans l'intérieur de la cloche, puis on fait passer une décharge de la machine entre les tiges, et pendant qu'elle continue les extrémités sont séparées l'une de l'autre; au moment de la séparation, une lueur continue a lieu sur le bout de la tige négative, tandis que l'extrémité positive reste tout à fait obscure. A mesure que la distance augmente, une traînée de lumière pourpre ou blanche paraît à l'extrémité de la tige positive et s'avance directement vers la tige négative, elle s'allonge à mesure que l'intervalle s'élargit, mais ne se joint jamais à la lueur négative; de sorte qu'il y a toujours entre elles un petit espace obscur. Cet espace, d'environ un millimètre et plus, est invariable en apparence dans son étendue et sa position relativement à la tige négative. Le même effet se produit, que le bout négatif soit inducteur ou induit.

Avec deux balles dans le récipient, où l'air était raréfié, les résultats ont été les mêmes; mais toutes les fois que le rayon lumineux qui se montrait après l'étincelle et l'aigrette avait cessé, il se changeait en lueur sur les

balles, et l'espace obscur se représentait. Quelquefois quand la balle négative était grande, la machine fortement en action et la raréfaction très-grande, la balle était couverte de lueur sur la moitié de sa surface, et ensuite ne paraissait pas avoir d'espace obscur; mais ce n'était là qu'une illusion.

Dans différents gaz, la décharge obscure diffère, à certains égards, de celle qui a lieu dans l'air. Les deux surfaces arrondies ayant été placées dans du gaz hydro-chlorique, à la pression de 6,5 de mercure, on a eu, en faisant passer un courant d'électricité continu, de brillantes étincelles, tant que l'intervalle n'a été que de 1 pouce ou au-dessous; mais au-dessus elles ont été remplacées par des aigrettes, ramassées, intermittentes, avec des lueurs sur les deux surfaces, et une partie obscure entre elles, etc. Quand le courant, dans la machine, était simplement une étincelle, alors chaque étincelle causait une décharge à travers l'acide hydro-chlorique qui, à un certain intervalle, devenait très-brillant; à un intervalle plus grand, il devenait lumineux; à un intervalle plus grand encore, il se produisait une faible aigrette à l'extrémité inductrice positive, et une lueur à l'extrémité induite négative. La partie obscure se trouvait entre les deux.

En introduisant plus de gaz jusqu'à ce que la pression fût de 29,97 po., les mêmes surfaces donnaient des étincelles brillantes à de petites distances; mais quand elles étaient éloignées d'environ 1 pouce ou plus, la décharge avait lieu généralement avec de très-faibles aigrettes, et quand la distance était de 2 cent. on avait une lueur, et fréquemment sans lumière, quoique l'électricité eût traversé le gaz. Dans le gaz oxide de carbone, à des pressions ordinaires, quand la distance était d'environ 1 pouce, la décharge était accompagnée d'aigrettes très-courtes aux extrémités, et il y avait entre elles un intervalle obscur d'un demi-pouce ou plus.

1443. L'hydrogène donne fréquemment des étincelles particulières, dont une partie sont d'un rouge brillant

tandis que l'autre est d'un gris pâle, ou bien toute l'étincelle est faible et d'un caractère particulier. Les faits précédents montrent comment on conçoit la décharge obscure.

L'azote présente une décharge très-remarquable entre deux boules, dont les diamètres sont de 0,15 po. et de 2 po., lorsque la plus petite est rendue négative directement ou par induction. La décharge particulière se présente à des intervalles qui varient entre 0,42 et 0,68 et même 1,4. Quand la grande balle est inductrice positivement, elle consiste en une petite aigrette partielle sur la petite boule négative; il y a ensuite un espace obscur, et enfin une ligne droite sur la grande boule positive (fig. 61). La position de l'espace obscur est constante, et probablement en rapport avec l'espace obscur, quand la lueur négative est produite.

On voit donc que la décharge obscure est établie sur des faits incontestables.

§ IX. *Transport ou décharge de transport.*

1444. Cette décharge, sur laquelle nous ne dirons que peu de mots, parce que nous l'avons fait connaître suffisamment dans les précédents volumes, est celle qui est effectuée par le mouvement des corpuscules qui, se trouvant dans l'air, sont transportés d'une surface chargée à l'autre.

Ce mode de décharge, comme l'observe très-bien M. Faraday, est en apparence très-différent des modes de décharge que j'ai exposés; mais comme il est le même en réalité, il a cru devoir en faire une étude particulière. Nous ne le suivrons pas dans l'examen qu'il en a fait, attendu que nous nous en tenons aux modes de décharge qui servent de base à la théorie. Au surplus, nous ferons remarquer, avec M. Faraday, que cet examen est d'une certaine importance, parce qu'il met en évidence non-seulement la nature de la décharge elle-même, mais encore la faculté que possède le courant électrique, de trans-

porter des parties matérielles lorsque, ayant une intensité suffisante, il traverse un milieu liquide ou gazeux, et même solide.

Je me suis attaché à décrire avec détails les expériences de M. Faraday et à exposer les principaux résultats qu'il a obtenus, afin de montrer l'influence qu'exercent les diélectriques sur tous les phénomènes d'induction, en y comprenant, bien entendu, les diverses décharges électriques qui sont toujours précédées d'une induction. Je passe sous silence une partie des vues théoriques que ce célèbre physicien a présentées dans ses quatre derniers mémoires sur la cause des phénomènes électriques en général, attendu que je serais obligé d'entrer dans des considérations que ne comporte pas le plan de mon ouvrage, mon but étant particulièrement de faire connaître les faits principaux qui peuvent servir à expliquer les propriétés générales de l'électricité, et son mode d'action, comme force physique, ou comme force chimique.

LIVRE XIV.

DES DIVERSES PILES ET DE LEURS EFFETS PHYSIQUES ET CHIMIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

DES DIVERSES PILES A COURANT CONSTANT.

§ Ier. *Premières recherches.*

1445. On s'occupe beaucoup, dans ce moment, de la construction de piles qui produisent des effets physiques et chimiques constants, en raison des avantages que l'on en retire pour les recherches scientifiques, ou que l'on en peut retirer pour les applications industrielles, avantages qu'on ne saurait trouver dans les piles à auges ou autres, construites d'après les principes de Volta. Mais on a perdu de vue les premières recherches qui ont été faites pour trouver les principes à l'aide desquels on construit aujourd'hui les nouvelles piles. Voici le précis des recherches que j'ai publiées à ce sujet dans les Annales de physique et de chimie (1), il y a dix ans :

(1) Tom. XLIII.

Pendant longtemps les physiciens qui ont voulu analyser les effets de la pile, se sont bornés à plonger chaque couple dans un mélange d'eau, d'acide sulfurique et d'acide nitrique, en diverses proportions, sans chercher à analyser l'action individuelle de chaque liquide sur le cuivre et le zinc. La science n'était pas alors assez avancée pour qu'on pût se livrer à des recherches de ce genre.

Guidé par les expériences que j'avais faites pour analyser les courants électriques produits dans la réaction des liquides les uns sur les autres, j'ai adopté le dispositif suivant, qui permet de faire agir chacun des deux métaux sur un liquide différent :

On prend une petite boîte en verre AA′ (fig. 65), dans l'intérieur de laquelle on place deux diaphragmes en baudruche DD, CC′, afin de former trois cases; ces diaphragmes sont appliqués sur les parois de la boîte avec tout le soin possible, afin que la communication d'une case à l'autre n'ait lieu que par l'intermédiaire de la baudruche qui n'est là que pour retarder le mélange ou la combinaison des liquides contenus dans chacune des cases. A la rigueur, on peut ne mettre qu'un diaphragme; mais l'expérience prouve que les deux sont nécessaires, surtout quand elle doit durer longtemps. Le fond de cette boîte est ouvert seulement dans la partie située entre les deux diaphragmes, afin qu'en plongeant l'appareil dans un vase qui renferme un liquide conducteur, les liquides contenus dans chacune des cases extrêmes ne se mêlent que difficilement. On peut, si l'on veut, fermer cette ouverture, et mettre dans la case du milieu un des liquides contenus dans l'une des deux autres.

1446. Considérons d'abord le cas où les trois cases ne contiennent que de l'eau, avec $\frac{1}{50}$ d'acide sulfurique : si l'on plonge une lame de cuivre et une lame de zinc, chacune dans une des cases extrêmes, et que l'on fasse communiquer les deux bouts libres avec les extrémités du fil d'un multiplicateur, on obtient les résultats suivants :

N° 1.

LIQUIDE contenu dans la case cuivre.	LIQUIDE contenu dans la case zinc.	DURÉE de l'immersion.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.
Eau et 1/50 d'acide sulfurique.	*Idem.*	0 15 min. 30	63° 53 46

On recommence l'expérience après avoir changé les liquides et nettoyé les lames; la déviation est encore dans le premier moment, de 63°; mais si l'on ajoute quelques gouttes d'acide nitrique dans la case cuivre, les effets changent; le courant augmente d'intensité.

N° 2.

LIQUIDE contenu dans la case cuivre.	LIQUIDE contenu dans la case zinc.	DURÉE de l'immersion.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.
Eau et 1/50 d'acide sulfurique plus 1/50 d'acide nitrique.	Eau et 1/50 d'acide sulfurique.	0 15 min. 30	80° 73 65

En substituant du nitrate de cuivre à l'acide nitrique, les résultats sont sensiblement les mêmes.

En supprimant l'acide sulfurique et n'ajoutant que de l'acide nitrique dans les deux cases, on a :

N° 3.

LIQUIDE contenu dans la case cuivre.	LIQUIDE contenu dans la case zinc.	DURÉE de l'immersion.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.
Eau et 1/50 d'acide nitrique.	Eau et 1/50 d'acide nitrique.	0 15 min. 30	81° 71 67

L'acide hydro-chlorique substitué à l'acide nitrique, et employé en même quantité, produit à peu près les mêmes effets.

Quand la case cuivre renferme une dissolution saturée de nitrate de cuivre, et la case zinc une dissolution saturée de sulfate de zinc, on a :

N° 4.

LIQUIDE contenu dans la case cuivre.	LIQUIDE contenu dans la case zinc	DURÉE de l'immersion.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.
Dissolution saturée de nitrate de cuivre.	Dissolution saturée de sulfate de zinc.	0 15 min. 30	84° 72 68

Enfin considérons le cas où l'on met de l'acide nitrique dans la case zinc :

N° 5.

LIQUIDE contenu dans la case cuivre.	LIQUIDE contenu dans la case zinc.	DURÉE de l'immersion.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.
Eau et 1/50 d'acide sulfurique.	Eau et 1/50 d'acide sulfurique et 1/50 d'acide nitrique.	0 15 min. 30	62° 64 61

Quoique je ne rapporte pas les intensités des courants qui correspondent aux déviations de l'aiguille aimantée, ces déviations suffisent néanmoins pour tirer les conséquences suivantes, qui sont importantes pour la construction des piles à courant constant :

Le maximum d'intensité s'obtient sensiblement quand le cuivre plonge dans une dissolution de nitrate de cui-

vre, et le zinc dans une dissolution de sulfate de zinc. La diminution de cette intensité suit à peu près la même loi que dans les tableaux n°s 2 et 3. Les résultats du n° 5 sont ceux qui offrent le moins de variations. On peut même, avec certaines précautions, les rendre croissantes pendant une demi-heure; il suffit pour cela de ne mettre qu'un diaphragme dans la caisse, ou rapprocher tellement les deux diaphragmes l'un de l'autre, que l'acide nitrique de la case zinc puisse passer lentement dans la case cuivre, afin d'augmenter le pouvoir conducteur de la solution. Il m'est arrivé plusieurs fois d'obtenir une compensation telle que les déviations de l'aiguille aimantée étaient parfaitement constantes, pendant une heure et plus, avantage que l'on n'obtient jamais avec les piles ordinaires.

1447. Je dois faire observer qu'en général dès l'instant que la pile fonctionne, il s'opère des décompositions et des transports de substances qui polarisent les électrodes de manière à produire des courants en sens inverse du premier, de sorte que l'intensité de celui-ci diminue peu à peu. L'art consiste donc, pour obtenir un courant constant, à dissoudre les dépôts à mesure qu'ils se forment, avec des liquides convenablement placés. On y parvient à l'aide du procédé que j'ai décrit dans l'expérience n° 5. L'acide sulfurique qui est dans la case cuivre est employé en partie à dissoudre une portion du zinc qui est transporté sur la plaque cuivre; de même l'acide nitrique, qui se trouve dans l'autre case, s'empare d'une partie du cuivre de la dissolution qui a traversé les deux diaphragmes, et est réduit par le zinc. En diminuant par ce moyen l'intensité du courant secondaire, on arrive à des effets sensiblement constants.

Pour compléter l'analyse des effets produits dans un couple voltaïque, par l'influence des actions électro-chimiques, il était nécessaire de déterminer jusqu'à quel point ces actions cessaient d'agir pour augmenter l'intensité du courant. C'est ce que j'ai fait de la manière suivante : l'expérience étant disposée comme dans

le n° 1 et la déviation initiale étant de 63°, on a ajouté peu à peu de l'acide sulfurique dans la case zinc : la déviation a augmenté successivement jusqu'à 68°, qui est devenu un maximum qu'on n'a pu dépasser, en ajoutant un nouvel excès d'acide; tandis que quelques gouttes d'acide nitrique dans la case cuivre portaient l'aiguille aimantée à 80°. Je crois avoir rapporté assez de faits pour démontrer l'influence de l'action individuelle de chaque liquide sur les deux lames métalliques d'un couple voltaïque pour modifier l'intensité du courant, de manière à avoir des effets contraires.

J'ai cherché ensuite si les rapports précédents, obtenus avec un seul couple, étaient encore les mêmes quand on en réunissait plusieurs de manière à former une pile. Les résultats ont été des plus satisfaisants.

Une pile construite suivant les principes que je viens d'indiquer, réunit les conditions les plus favorables pour avoir des effets constants. Nous verrons plus loin le parti que M. Daniell a tiré de ces principes, pour construire la pile à courant constant qui est généralement adoptée aujourd'hui.

§ II. *De la pile simple à dégagement d'oxigène, à courant constant.*

1448. J'ai déjà fait connaître (1) une pile à courant constant, qui éprouve peu de variations dans l'espace de vingt-quatre heures et dont on peut tirer de grands avantages dans quelques cas. Chaque élément de cette pile est formé de deux petits bocaux en verre, dont l'un renferme de l'acide nitrique concentré, et l'autre une solution de potasse caustique, également très-concentrée, et d'un tube de verre recourbé, rempli d'argile très-fine, humectée d'une solution de sel marin, lequel sert à établir la communication entre les deux so-

(1) Tom. v, 1re partie, 1252.

lutions; dans le bocal où se trouve l'alcali, plonge une lame d'or, et dans l'autre une lame de platine. Si l'appareil est disposé de manière que les solutions soient séparées par une couche mince d'argile, il y a un dégagement abondant de gaz oxigène sur la lame qui se trouve dans l'alcali.

Je vais maintenant continuer à exposer les observations qui ont été faites avec cet appareil depuis la publication de la 1re partie du Ve volume, où se trouve la théorie que j'ai donnée de ses effets.

1449. M. Jacobi de Dorpat a fait un travail assez étendu sur cet appareil : voici le mode de construction qu'il a adopté, et qui est à peu près le même que celui que j'ai décrit :

Dans un petit bocal, fermé à la partie supérieure par un couvercle de papier, plongeait à travers ce couvercle un tube de verre de cinq lignes de diamètre, ouvert par le haut et fermé à sa partie inférieure avec un tampon d'argile non effervescente avec les acides, et humecté d'une solution concentrée de sel marin, dans laquelle on avait ajouté un peu de potasse caustique. Il importe beaucoup pour le succès de l'expérience que le bouchon ne ferme pas trop fortement, car autrement les liquides qui sont, l'un dans le bocal, l'autre dans le tube, ne pourraient pas communiquer ensemble; il ne faut pas non plus qu'il soit trop aisé, dans la crainte que la pression du gaz ne puisse faire passer le liquide dans le tube à travers l'argile. Le haut du tube était fermé avec un bouchon de liége, auquel était ajusté un petit tube de verre dans lequel passait le gaz qui se dégageait, ainsi qu'un fil de platine soudé à une lame de platine qui se trouvait dans le premier tube : une autre lame de platine plongeait dans le bocal; les deux lames de platine avaient été mises en communication avec le fil d'un multiplicateur très-sensible. Un tube divisé, dans la boule duquel on avait fait fondre un peu de phosphore, recevait le gaz qui sortait par le tube de dégagement et était recueilli sous l'eau. Les lames de platine, qui avaient deux pouces et

demi de longueur sur un demi-pouce de largeur, avaient été décapées avec soin, en les plongeant à diverses reprises dans de l'acide nitrique. Ce tube était rempli jusqu'au bord avec une lessive d'une potasse nouvellement préparée et très-concentrée. On enfonçait ensuite le bouchon de manière que le tube destiné au dégagement du gaz fût rempli de liquide. Dans le bocal on versait de l'acide nitrique très-pur concentré, d'une pesanteur spécifique de 1,315 à la température de 14 degrés de R. Aussitôt que le circuit était fermé, il y avait un dégagement de gaz abondant. Lorsque le liquide était entièrement sorti du tube, il se dégageait des bulles de gaz qu'on laissait échapper pendant une demi-heure et le gaz était ensuite recueilli. Voici les résultats que M. Jacobi a obtenus avec l'appareil disposé comme il vient d'être dit :

1° La déviation de l'aiguille aimantée, qui était de 36 degrés dès le commencement, n'a éprouvé aucun changement pendant 24 heures ;

2° Sur la lame de platine plongée dans l'acide on n'a remarqué aucune trace visible de dégagement de gaz ; il n'y en a pas eu davantage intérieurement ou à la surface extérieure du bouchon d'argile. Cependant l'acide exhalait, dans le cours de l'expérience, une odeur d'acide nitreux, comme je l'avais déjà annoncé ;

3° Il était important, pour le succès de l'expérience, que l'alcali fût concentré ainsi que l'acide ;

4° Cet appareil décomposait l'iodure de potassium ;

5° La précipitation du cuivre sur l'un des fils de platine dans un appareil décomposant ne s'est pas effectuée, du moins après une expérience d'un quart d'heure ;

6° Lorsque la déviation de l'aiguille eut cessé et que l'iode fut dégagé, la lame qui plongeait dans l'alcali se comportait comme le zinc, et celle qui se trouvait dans l'acide comme le cuivre d'un couple voltaïque ;

7° 800 pieds de fil de cuivre de 3/4 de ligne de diamètre introduits dans le circuit ne changèrent pas sensiblement la déviation. La résistance de conductibilité de ce long fil devait être extrêmement faible relativement à celle des autres substances du circuit ;

8° Quand le circuit était établi, au moyen de longues spirales et d'un cylindre de fer, il n'y avait pas la moindre étincelle au moment où on le fermait ou on l'ouvrait. L'emploi même d'un fil de fer court ne donnait jamais d'étincelle ;

9° Lorsque l'on armait la lame de deux fils de platine et qu'on la plaçait dans le cercle, comme fermeture secondaire, on éprouvait, en employant la spirale et en interrompant ce circuit, une secousse extrêmement faible quoique sensible, mais rien en le fermant. Le circuit n'étant fermé que par le fil du multiplicateur, on n'éprouvait aucune sensation, alors même qu'on appliquait le fil sur les lèvres;

10° Le dégagement de gaz était tel qu'on obtenait en 5 heures 0,6 de pouce cub.; ce gaz, privé d'odeur, de saveur et de couleur, était absorbé par du phosphore à peine chauffé jusqu'au point de fusion, avec dégagement de lumière brillante. Ce gaz manifestait donc toutes les propriétés de l'oxigène pur. Tous ces faits confirment les observations que j'avais annoncées dans mon mémoire.

§ III. *Développements relatifs aux décompositions chimiques opérées avec les appareils hydro-électriques simples.*

1450. Il est bien prouvé maintenant que la quantité d'électricité, qui est associée aux atomes dans les composés chimiques, est proportionnelle aux affinités en vertu desquelles ces atomes sont combinés. D'après ce principe, plus les affinités sont énergiques, plus il y a d'électricité dégagée dans la combinaison, et plus le courant électrique employé doit avoir d'intensité pour détruire cette combinaison. Aussi a-t-on trouvé que lorsqu'une solution est soumise à l'action d'un courant, la quantité de cette solution, qui est décomposée, est proportionnelle à la quantité d'électricité qui passe dans ce même temps.

D'un autre côté, nous sommes portés à admettre,

avec M. Delarive, que dans la pile de Volta les deux électricités réunies aux deux pôles ne sont autres que celles qui proviennent de la réaction chimique du liquide sur les couples extrêmes, lesquelles échappent à la recomposition. Si leur intensité paraît augmenter avec le nombre des couples, cela vient de ce que les couples intermédiaires opposent un obstacle d'autant plus grand à leur recomposition que le nombre est plus considérable.

Vient-on à fermer le circuit avec un fil métallique, les deux électricités extrêmes le parcourent immédiatement, parce qu'ils éprouvent moins de difficulté à se recombiner par son intermédiaire, qu'en suivant l'intérieur de la pile. Dès lors, si l'on parvient à retarder suffisamment par un moyen quelconque la recomposition des électricités produites dans la réaction de l'eau acidulée sur un métal, on aura des effets semblables à ceux d'une pile. Il ne faut pas perdre de vue pour cela que, dans la réaction chimique de deux corps l'un sur l'autre, en communication avec un troisième corps solide ou liquide, si l'on veut recueillir le plus d'électricité possible, il faut disposer l'appareil pour que le meilleur conducteur soit le corps qui est destiné à la recevoir. Revenons à l'appareil hydro-électrique simple.

1re *Expérience.* Dans un verre MN de quelques centimètres de diamètre (fig. 66), on verse de l'acide nitrique concentré; on plonge dedans un tube AB, fermé à sa partie inférieure avec un bouchon d'argile d'un centimètre d'épaisseur, humecté d'une solution de sel marin et de potasse, et coiffé d'une toile pour empêcher l'argile de tomber; ce tube est rempli d'une solution concentrée de potasse, comme dans les expériences précédentes. On plonge encore dans le verre MN un autre tube CD, de quelques millimètres de diamètre, traversé par un fil de platine, fermé à la lampe dans le haut, et rempli d'acide nitrique. Une lame de platine plongeant dans la solution de potasse est mise en communication avec ce fil. Dès l'instant que cette communication est établie, il se dégage abondamment du gaz oxigène dans le tube

A B, comme il est dit dans le mémoire ci-dessus relaté. Dans le tube C D, on n'observe aucun dégagement de gaz, mais l'acide nitrique se colore successivement en vert, puis en bleu, en passant successivement par toutes les nuances intermédiaires. Cette expérience démontre évidemment que dans la chaîne hydro-électrique, l'acide nitrique est décomposé par l'action du courant qui résulte de la réaction chimique de l'acide sur l'alcali. Toutes les fois que le fil du tube C D n'est pas immédiatement en contact avec l'acide nitrique, le dégagement de gaz cesse dans le tube A B. Cette condition est remplie quand le tube C D contient de l'acide sulfurique à différents degrés de densité, et est fermé par en bas avec un bouchon d'argile. Dans la réaction de l'acide sur l'alcali, l'acide prend l'électricité positive, l'alcali l'électricité négative; dès lors la lame qui se trouve dans la potasse est le pôle positif, et le fil qui est dans l'acide le pôle négatif. L'acide nitrique perd dans cette circonstance peu à peu de son oxigène, et se change en acide nitreux qui se dissout dans l'acide nitrique; selon le degré de concentration de la dissolution, la couleur de la liqueur passe successivement du jaune au vert et au bleu.

2e *Expérience.* Si l'on emploie, au lieu d'acide nitrique, de l'acide sulfurique étendu de moins de la moitié de son poids d'eau, il se dégage encore de l'oxigène sur la lame qui se trouve dans la potasse, mais en moins grande quantité que dans l'expérience précédente. Sur la lame négative il y a un dégagement de gaz hydrogène correspondant. Quand l'acide renferme une grande quantité d'eau, le courant électrique n'a plus assez de force pour décomposer l'eau.

3e *Expérience.* Si dans le tube A B on en met un autre, également fermé avec un tampon d'argile d'environ un centimètre de longueur, et rempli d'une solution de sulfate de potasse, et qu'on y plonge la lame de platine entourée d'une bande de papier tournesol, celle-ci ne tarde pas à rougir. On voit par là que l'électricité qui se dégage dans la combinaison de la potasse avec l'acide

sulfurique, devient apte, dans le même liquide, à décomposer le même sel. Si, à la place de la solution de potasse, on met une solution d'iodure de potassium, l'iode apparaît immédiatement autour de la lame de platine, comme dans l'expérience de M. Jacobi.

4e *Expérience.* Puisqu'il est bien démontré que le courant électrique est dû à la réaction de l'acide sur l'alcali, si l'on veut obtenir le maximum d'effets, il faut disposer l'appareil de manière que les deux électricités, à l'instant même de leur dégagement, se portent sur les lames de platine destinées à les recevoir.

Voici la disposition qui m'a paru la plus favorable pour obtenir ce résultat (fig. 67) : le tube AB est coiffé, à son extrémité inférieure, avec une douille en platine, percée de petits trous, et au centre de laquelle est soudé un fil de platine *ab;* on recouvre cette lame extérieurement d'une toile à tissu très-serré, et l'on pose dessus une autre lame de platine également percée de trous, à laquelle est soudé un fil de platine que l'on met en communication avec le fil du tube AB; cette dernière lame est entourée d'un bord relevé qui permet de le fixer sur le tube. Au moyen de cet arrangement, les deux liquides, à l'instant où ils réagissent l'un sur l'autre, cèdent, aux lames de platine, avec lesquelles les parties agissantes sont en contact, une portion des deux électricités dégagées, d'où résulte un courant produit par la plus grande quantité de l'électricité que l'on puisse recueillir dans la réaction de l'acide sur l'alcali. Le dégagement de gaz oxigène est très-abondant, si l'appareil est bien disposé. Quand le tube a deux centimètres de diamètre, il ne faut que peu d'instants pour recueillir un centimètre cubique de gaz oxigène. Dans cet appareil, comme dans les précédents, on doit éviter d'opérer sur les dissolutions qui donnent naissance par leurs réactions réciproques à des composés solides, attendu que les surfaces de contact sont bientôt obstruées par des cristaux non conducteurs qui s'opposent à la circulation du courant. Quand cet

effet a lieu, il faut laver la surface du contact pour dissoudre les cristaux déposés.

5e *Expérience.* Le tube AB, fermé en bas comme à l'ordinaire avec un bouchon d'argile, humecté d'une solution de sel marin, est rempli d'une solution d'iodure de potassium, le verre MN rempli d'acide sulfurique légèrement étendu d'eau, puis la communication est établie entre les deux liquides au moyen de lames de platine en relation avec un fil du même métal. L'iodure de potassium est décomposé par l'action du courant produit dans la réaction de l'acide sulfurique sur le sel marin. On pourrait supposer que le dégagement de l'iode autour de la lame qui plonge dans la dissolution de l'iodure, provient de l'acide sulfurique qui, s'étant infiltré à travers l'argile, aurait rougi sur l'iodure de potassium; mais il n'en est rien, puisqu'on obtient le même résultat quand la solution d'iodure se trouve dans un second tube placé dans l'autre.

En substituant à l'acide sulfurique une solution concentrée de nitrate de cuivre, l'iode est également séparé, mais sans qu'il y ait dégagement de gaz et que le nitrate de cuivre soit décomposé. L'action du courant est donc entièrement employée à séparer l'iode du potassium, dont la combinaison est formée en vertu d'affinités moindres que celles qui constituent la combinaison de l'oxide de cuivre avec l'acide nitrique dans le nitrate.

Les expériences que je viens de rapporter, prouvent évidemment que les décompositions susmentionnées sont dues uniquement à l'action du courant résultant de la réaction chimique des deux solutions qui se trouvent, l'une dans le tube AB, l'autre dans le verre MN, et qu'en disposant les appareils pour empêcher, autant qu'il est possible, la recomposition des deux électricités dégagées dans cette action, on a des effets chimiques comparables à ceux qui sont produits avec le courant provenant d'une pile composée.

CHAPITRE II.

DES PLAQUES DE ZINC AMALGAMÉ.

§ Ier. *Des propriétés du zinc amalgamé.*

1451. Les plaques de zinc amalgamé étant d'une très-grande utilité dans la construction des piles à courant constant, je dois d'abord faire connaître toutes leurs propriétés. Une plaque amalgamée, comme on l'a déjà vu, possède la singulière propriété de ne pas être attaquée par de l'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique dans laquelle elle plonge; mais si l'on vient à la toucher avec un fil de cuivre ou de platine, l'action devient vive aussitôt, le zinc se dissout, et l'hydrogène se dégage sur le fil, qui est le pôle négatif du couple voltaïque. On considère, et avec raison, cet effet comme étant une anomalie, attendu que le mercure, constituant par son contact avec le zinc et l'eau acidulée un couple voltaïque, le zinc devrait être plus attaqué que lorsqu'il ne lui est pas associé; or, le contraire ayant lieu, il faut que les particules du zinc, par suite de leur contact suivi de combinaison avec le mercure, se trouvent dans le même état que les particules du fer inactif, comme M. Faraday l'a avancé.

Cette singulière propriété du zinc amalgamé a été signalée la première fois par H. Davy, dans sa lecture bakérienne pour 1826 (1). Il établit dans son mémoire

(1) Trans. philos., IIIe partie.

que *du zinc amalgamé est positif relativement à du zinc pur*, c'est-à-dire qu'il est plus attaqué que ce dernier. Davy s'est borné à annoncer ce fait, sans en tirer aucune conséquence pour la construction des batteries voltaïques.

Il paraît que c'est M. Kemp, d'Édimbourg, qui a employé le premier le zinc amalgamé et le cuivre dans la construction régulière des appareils voltaïques, comme on le voit dans le nouveau Journal philosophique du professeur Jameson, pour décembre 1828.

1452. Je vais passer maintenant en revue les expériences qui ont été faites successivement sur le zinc amalgamé par MM. Sturgeon, Faraday et autres physiciens. Commençons par le mode de préparation : on prend deux lames de zinc, et après les avoir polies avec du papier de verre, on étend du mercure sur la surface de l'une d'elles avec du linge, ou bien, ce qui est préférable, on la plonge auparavant dans de l'eau aiguisée par l'acide sulfurique. Ces deux lames, ainsi préparées et mises en communication avec un multiplicateur, sont plongées dans une faible dissolution d'eau acidulée. La lame amalgamée agit comme le zinc et l'autre comme le cuivre, dans un couple voltaïque ordinaire. Mais ce qu'il y a encore de remarquable dans les effets que nous décrivons, c'est que l'action chimique, qui d'ordinaire est violente et intense sur le zinc qui plonge dans une solution d'acide sulfurique ou d'acide hydro-chlorique, est tranquille et uniforme sur des lames de zinc amalgamé. De plus, les pouvoirs électriques sont plus fortement exaltés et sont en jeu pendant plus de temps qu'avec du zinc pur.

Avec une solution d'acide nitreux les énergies électriques des deux lames se montrent à un degré très-supérieur.

M. Sturgeon a fait l'expérience suivante : deux lames de zinc, présentant chacune une surface de 10 pouces carrés, et dont l'une était amalgamée et brillante et l'autre non amalgamée, ont été plongées dans de l'acide nitreux dissous dans douze fois son volume d'eau, après avoir été

mises en rapport avec un multiplicateur. L'aiguille, après plusieurs oscillations, s'est arrêtée à 65°, après quoi on a obtenu les résultats suivants :

	Minutes.	Déviations de l'aiguille.
En	5	70°
	20	68
	30	65
	45	60
	60	55
	75	50
	90	45
	105	40
	120	35
En	4 heures	25

Les lames n'ayant pas été dérangées, au bout de 15 heures, la déviation de l'aiguille était encore de 18°. Le circuit ayant été interrompu, sans que les lames fussent dérangées de place, puis l'aiguille revenue dans le méridien magnétique, le circuit fut de nouveau complété; l'aiguille, après avoir été projetée à 30°, s'arrêta à 9°.

1453. M. Faraday a fait de son côté les observations suivantes, avec une petite batterie de 10 paires de plaques, composées chacune d'une lame de zinc amalgamée et d'une lame de platine, présentant une surface de quatre pouces carrés, réunies l'une et l'autre au moyen d'un fil de platine. La pile avait la forme d'une batterie à couronne de tasse; de plus un appareil décomposant faisait partie du circuit; le liquide employé était une dissolution d'acide sulfurique, d'une gravité spécifique de 1,25. L'action était nulle sur le zinc amalgamé, quand les électrodes n'étaient pas en communication; et lorsque cette communication était établie, l'action sur le zinc était en proportion avec la décomposition dans l'appareil décomposant; attendu que lorsque le courant était retardé dans ce dernier, il était retardé également dans la batterie. Quand une plaque de zinc amalgamé et une

lame de platine, plongées l'une et l'autre dans une solution d'acide sulfurique, étaient mises en communication avec un multiplicateur, le courant était très-puissant, mais son intensité diminuait aussitôt, et elle n'était plus que le $\frac{1}{8}$ ou le $\frac{1}{10}$ de ce qu'elle était d'abord. Cet effet est dû, comme l'observe M. Faraday, à ce que l'action qui a lieu sur la surface de la lame de zinc étant régulière, l'acide qui est en contact avec le zinc neutralise rapidement l'oxide formé, de sorte que l'oxidation marche ensuite lentement. Quand on opère avec le zinc ordinaire, le dégagement du gaz sur le zinc ordinaire tend à mêler continuellement tout le liquide, et porte ainsi sur le métal de l'acide nouveau qui enlève l'oxide formé; ainsi de suite.

Avec la batterie de zinc amalgamé, chaque fois que le courant cesse, la solution saline près du zinc est graduellement répandue dans le reste du liquide; et au renouvellement du contact avec les électrodes, on trouve que les plaques de zinc sont dans des circonstances les plus favorables pour la production d'un courant fort et puissant, et cela avec d'autant plus de raison que le zinc amalgamé n'est pas attaqué quand le circuit est ouvert.

J'ai dit plus haut que M. Faraday avait remarqué qu'avec un couple zinc amalgamé et platine, l'intensité du courant diminuait rapidement; des expériences faites postérieurement n'ont pas donné cependant le même résultat, comme on va le voir :

On a opéré avec un couple zinc amalgamé et platine; la surface de chaque plaque avait 4 pouces carrés, et le liquide intermédiaire était une dissolution d'acide sulfurique.

Dans le premier moment la déviation de l'aiguille a été de 62°, 5; puis

En	5 minutes	60°
	10 Id.	57
	15 Id.	55
	20 Id.	52,5
	25 Id.	49

30	Id.	48
35	Id.	47
40	Id.	46,50
45	Id.	46
50	Id.	45
55	Id.	45
60	Id.	45

L'appareil ayant fonctionné pendant une heure, le circuit fut interrompu pendant une minute et la solution agitée avec les lames qu'elle renfermait, puis, la communication rétablie; l'aiguille, après quelques oscillations, s'est arrêtée à 47°, c'est-à-dire que le courant a repris son intensité première.

Le circuit étant resté fermé pendant une heure, l'aiguille était encore déviée de 42°; au bout de la troisième heure, la déviation n'était pas changée. Je dois ajouter qu'un dégagement considérable d'hydrogène avait eu lieu sur la surface de platine pendant le premier quart d'heure.

Ces résultats sont bien différents de ceux que M. Sturgeon avait obtenus en opérant avec une solution d'acide nitreux, puisqu'ils montrent que les variations de l'intensité du courant finissent par être nulles au bout de 40 minutes.

1454. Continuons l'examen que M. Faraday a fait des propriétés du zinc amalgamé.

Dans une solution formée d'une portion d'acide sulfurique et de 30 parties d'eau, une plaque de zinc ordinaire est attaquée énergiquement. Dans les mêmes circonstances le zinc pur ne reçoit en comparaison qu'une action bien faible. On est porté à croire que, dans le premier cas, toute l'action provient de petits couples voltaïques formés de zinc et de fer. En opérant avec le zinc amalgamé, l'action est nulle ou à peine sensible, comme on l'a vu (1451), et elle ne se développe qu'en le touchant avec un métal non oxidable. Pour savoir ce qui se passait dans les deux cas, M. Faraday a pris deux

plaques de zinc amalgamé, séchées et pesées avec soin, et une solution semblable à la précédente. Une de ces lames fut introduite avec une autre de platine, en communication avec elle, dans une éprouvette remplie de la solution. La seconde plaque fut mise en même temps dans une autre éprouvette remplie du même liquide, hors de tout contact métallique. Dans la 1re éprouvette, il y eut un fort dégagement de gaz autour du platine, et aucune bulle sur le zinc amalgamé de la seconde éprouvette. Au bout de dix minutes, les plaques furent lavées, séchées et pesées de nouveau; la seconde plaque pesait autant qu'avant l'expérience, tandis que la première avait perdu de son poids, comme cela devait être. Le gaz hydrogène dégagé ayant été mesuré, on trouva que, pour un équivalent de zinc oxidé, un équivalent d'eau avait été décomposé.

Relativement à l'observation de M. Delarive sur le zinc pur, il faut remarquer que lorsque l'acide agit sur du zinc ordinaire, des portions de cuivre, de plomb, de cadmium, ou d'autres métaux, sont mises en liberté à la surface et constituent, par leur contact avec le zinc, des paires de couples voltaïques très-petits, mais très-actifs.

Il résulte de cette multiplicité d'actions, qu'il y a beaucoup de zinc détruit, et que l'hydrogène se dégage en apparence sur la surface du zinc, tandis que ce dégagement n'a lieu réellement qu'à la surface des particules métalliques étrangères. Ces particules servent en même temps à décharger l'électricité du zinc, ou à l'y ramener, en diminuant ainsi le pouvoir qu'a ce métal de produire un courant électrique, qui s'étendrait à une plus grande distance à travers l'acide; il en résulte que l'intensité du courant qui passe par le circuit métallique entier se trouve bien diminuée.

On évite tous ces inconvénients au moyen des lames de zinc amalgamé.

Bien que le zinc amalgamé, quoique impur, ne décompose pas sensiblement l'eau acidulée, il conserve néanmoins une telle affinité pour l'oxigène qu'il suffit

du plus léger contact avec un métal pour faire naître une vive effervescence. M. Faraday pense que, dans cette circonstance, le mercure agit en amenant la surface dans une condition uniforme, qui détruit l'action de ces petits couples voltaïques. Toute la surface du zinc étant recouverte, on conçoit qu'une partie ne puisse agir comme déchargeur vis-à-vis d'une autre; il en résulte que tout le pouvoir chimique de l'eau, à la surface, est dans cette condition d'égalité qui, quoique tendant à produire un courant électrique à travers le liquide sur une autre plaque de métal, ne présente pas d'irrégularités au moyen desquelles une partie ayant des affinités plus faibles pour l'oxigène, puisse agir comme déchargeur vis-à-vis d'une autre.

Deux conséquences importantes résultent de l'amalgamation du zinc : la première est que l'équivalent complet d'électricité s'obtient par l'oxidation d'une certaine quantité de zinc; la seconde, qu'une batterie construite avec du zinc ainsi préparé, et chargée avec une dissolution d'acide sulfurique, n'est pas altérée, du moins le zinc, tant que les électrodes ne sont pas unis.

Avec une batterie composée comme il vient d'être dit, l'action sur le zinc amalgamé est en proportion avec la décomposition dans la cellule expérimentale. Quand le courant est retardé, il est aussi retardé dans la batterie; il résulte de là que l'acide des cellules reste actif pendant plus de temps que d'habitude; de là une action constante qu'on ne peut obtenir avec le zinc ordinaire, en opérant comme on le fait ordinairement.

On conçoit que l'action ne soit pas régulière dans les couples ordinaires, attendu que la perturbation apportée dans le liquide par le gaz, amène à chaque instant sur la surface du zinc des quantités inégales d'acide qui ne décapent pas de la même manière les surfaces. On aurait pu croire que le zinc amalgamé était très-inférieur pour la force au zinc commun, à cause du mercure qui, recouvrant toute la surface, ne permet pas un contact aussi immédiat entre le zinc et l'acide; mais il n'en est

pas ainsi. En effet, lorsque l'on soumet à l'expérience, dans les mêmes circonstances, deux couples égaux de zinc et de platine, et qui ne diffèrent l'un de l'autre qu'en ce qu'une des lames de zinc est amalgamée et l'autre ne l'est pas, on reconnaît que le courant de zinc amalgamé est très-puissant, relativement à l'autre.

Pour rendre compte de cette différence, qui est en faveur du zinc amalgamé, on peut dire que le zinc non préparé agit directement et seul sur le liquide, ce que ne fait pas le zinc amalgamé; le premier, par l'oxide qu'il produit, neutralise rapidement l'acide en contact avec sa surface, de manière à retarder les progrès de l'oxidation; tandis qu'à la surface du zinc amalgamé, l'oxide formé est à l'instant enlevé par le nouvel acide, et la surface polie du métal est toujours prête à agir sur l'eau, avec d'autant plus de force que le courant électrique a plus d'énergie.

§ II. *Tentatives faites pour expliquer l'inactivité du zinc amalgamé.*

1455. M. Grove a fait quelques expériences sur l'inaction du zinc amalgamé dans l'eau acidulée, dans le but d'expliquer aussi cette singulière propriété; les résultats auxquels il est parvenu ne sont pas sans intérêt pour le lecteur.

Lorsqu'on décompose, au moyen de la pile, de l'eau acidulée, si l'on met quelques globules de mercure au fond du vase où se trouvent les électrodes de platine, on remarque que lorsque l'électrode négatif touche le mercure, il est toujours amalgamé; si l'on touche l'électrode négatif avec l'électrode positif, celui-ci est de même aussitôt amalgamé.

De même, le mercure qui a fonctionné dans l'eau acidulée comme électrode négatif d'un appareil voltaïque, jouit de la propriété d'amalgamer le platine et le fer; des lames de ces deux métaux qui ont servi d'électrodes négatifs, peuvent aussi s'amalgamer par simple contact avec le mercure.

M. Grove, qui a étudié ces effets avec soin, a reconnu

qu'ils étaient dus à la production du potassium et de sodium qui se déposent sur les lames décomposantes.

Quand, effectivement le mercure renferme quelques métaux électro-positifs, et qu'on plonge dedans un fil de platine, si l'on verse sur le mercure de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, l'eau est immédiatement décomposée et il se dégage abondamment de l'hydrogène sur le fil de platine. Le mercure combiné avec un métal électro-positif est donc l'élément positif du couple voltaïque. Davy est le premier qui ait remarqué que du mercure qui renferme des traces légères de potassium ou du sodium est extrêmement électro-positif.

M. Grove, guidé par ces observations, a émis l'opinion, que l'inaction du zinc amalgamé était l'effet d'une polarisation qui diffère des autres cas de polarisation, en ce que l'élément transporté, au lieu d'être précipité sur le métal négatif, entre en combinaison avec lui, et rend ainsi ce métal tellement positif, que le courant est anéanti, tandis que, dans les autres cas, il est seulement diminué d'intensité. Voici les expériences sur lesquelles ce jeune physicien fonde son opinion :

1° Ayant amalgamé à moitié une lame de cuivre, il la plongea avec une lame de zinc amalgamé dans de l'eau renfermant un septième d'acide sulfurique ou phosphorique ; aussitôt que le contact fut établi, il y eut un fort dégagement de gaz sur la partie non amalgamée de la lame de cuivre, tandis qu'il n'y eut seulement que quelques bulles isolées sur la partie amalgamée.

2° Ayant mis un gros globule de mercure dans un vase rempli d'eau acidulée, il le fit communiquer, au moyen d'une lame de cuivre amalgamée, avec un des bouts du fil du multiplicateur, et il plongea dans le même liquide une lame de zinc amalgamé en relation avec l'autre bout du multiplicateur ; il se produisit aussitôt un courant énergique de peu de durée, car au bout de quelques minutes l'aiguille était revenue à zéro.

3° En substituant au globule de mercure une lame de platine bien amalgamé, le courant devint prompte-

ment nul ou à peu près, tandis qu'en remplaçant le zinc par une lame de platine non amalgamée, cette dernière dégageait abondamment de l'hydrogène, et l'aiguille accusait un fort courant en sens inverse du premier.

4° Les choses étant disposées comme dans la deuxième expérience, on substitua à l'eau acidulée une solution de sulfate de cuivre; le courant fut énergique et constant, et le mercure s'amalgama avec le cuivre réduit.

1456. Voyons maintenant les conséquences que l'on peut tirer de ces quatre expériences: bien que le mercure n'agisse pas, dit M. Grove, comme un métal positif, il ne peut cependant, dans plusieurs cas, constituer l'élément négatif d'un couple voltaïque, à cause de la propriété qu'il possède de se combiner avec les éléments positifs des électrolytes, lesquels éléments le rendent positif au même degré que le métal avec lequel il est combiné. Mais si, comme dans la quatrième expérience, l'élément électro-positif de l'électrolyte est d'une nature telle, qu'en se combinant avec le mercure il ne le rende pas fortement positif, alors le courant n'est pas arrêté.

Quant à l'effet général du zinc amalgamé, on peut le concevoir de la manière suivante : tous les petits couples zinc et mercure étant positifs au même degré que le zinc, il faut la présence d'un autre métal pour compléter le circuit; car il n'y a pas de motif pour que le zinc amalgamé agissant seul, l'hydrogène se porte d'un côté ou de l'autre; c'est pour ce motif que l'action chimique est suspendue.

Le fait que le zinc amalgamé est positif par rapport au zinc ordinaire, et qu'il précipite le cuivre d'une solution de sulfate de cuivre, peut être expliqué de la même manière.

Dans la polarisation du mercure sous l'influence d'un courant, il se dépose sur ce métal non-seulement du potassium, du sodium ou autre métal électro-positif, mais encore de l'hydrogène. M. Grove a cherché si ce gaz, en se combinant seul en petite quantité avec le mercure, pouvait lui donner les mêmes propriétés.

On sait que Davy n'a pu parvenir à priver l'eau des matières qu'elle renfermait; M. Grove, pour y parvenir, a soumis à l'électrolysation, pendant cinq jours, dans un vase de cire, de l'eau distillée, acidulée par l'acide sulfurique pur. L'électrode négatif en cuivre amalgamé plongeait dans du mercure. Au bout de ce temps, le mercure fut remplacé par une autre quantité de mercure, et deux heures après, cette nouvelle quantité fut renfermée dans un tube avec de l'eau ainsi purifiée; le mercure laissa dégager une petite quantité d'hydrogène, qui provenait probablement de la présence dans le mercure du métal d'un des alcalis.

Cette expérience n'ayant pas donné le résultat qu'il en attendait, il répéta la deuxième expérience, rapportée plus haut, en élevant la température du liquide au-dessous de l'ébullition. L'aiguille du multiplicateur fut divisée de 60°, et le courant eut une intensité assez constante.

Il mit ensuite une lame de platine dans une cloche remplie d'hydrogène et la plongea dans du mercure. Quand le platine ou le mercure était mouillé, il montrait une tendance à l'amalgamation, mais jamais quand l'un et l'autre étaient parfaitement secs. De cette expérience, et d'autres que je ne rapporte pas ici, M. Grove en a tiré la conséquence que le mercure, sous l'influence d'un courant voltaïque, peut absorber une petite quantité d'hydrogène qui se dégage aussitôt que la communication est rompue. Quoi qu'il en soit, je crois qu'il faut encore de nouveaux faits pour avoir la véritable explication des propriétés du zinc amalgamé.

§ III. *Action des oxacides concentrés sur des couples voltaïques composés d'un métal oxidable et d'un métal inoxidable.*

1457. On sait que l'action chimique d'un acide à base d'oxigène sur les métaux oxidables est augmentée par l'association voltaïque de ces métaux avec d'autres métaux,

tels que le platine, etc. M. Thomas Andrews (1) vient de montrer que cette action est diminuée généralement dans les mêmes circonstances, quand l'acide est concentré. Les expériences suivantes mettent ce fait en évidence :

Lorsqu'on introduit dans l'acide sulfurique d'une pesanteur spécifique de 1,847, une plaque de zinc, à la température ordinaire, sa surface se recouvre d'une multitude de bulles de gaz si petites qu'on les prendrait pour un précipité blanc. Il suffit de l'agitation ou de l'application d'une chaleur douce pour les faire dégager. Ce gaz est de l'hydrogène pur. En chauffant l'acide, il y a à peine une nouvelle production de gaz ; mais lorsque la température a atteint près de 100°, il commence à s'élever de la surface des filets de gaz. En continuant à élever la température, le phénomène continue, et, de 130 à 150°, il y a une vive effervescence ; à des températures plus élevées encore, il se dégage un mélange de gaz sulfureux et d'hydrogène.

Si, dans les mêmes circonstances, on met en contact une lame de zinc avec une lame de platine, de manière à former un circuit continu, les petites bulles de gaz se montrent seulement sur la surface de platine. Si on les enlève, elles ne se reforment qu'après que l'on a exposé une nouvelle surface de zinc à l'action de l'acide. Le gaz obtenu est encore de l'hydrogène pur. Si l'on chauffe l'acide, il ne se développe pas de gaz de la surface de l'un des métaux jusqu'à ce que la température ait atteint 150° centigrades. En continuant à élever la température, des rayons de gaz s'élevent du fil de platine ; de 210 à 240°, il y a effervescence. Le dégagement de gaz n'a lieu que sur le platine.

M. Thomas Andrews a reconnu que le gaz dégagé sur la surface du platine diffère du gaz obtenu avec le zinc, par la petite portion d'hydrogène qu'il renferme, et dont la quantité diminue au lieu d'augmenter, à mesure que la solution avance.

---

(1) Trans. of the Royal Irish Academy. (1838.)

Quand le zinc est en relation avec le platine, il se précipite une certaine quantité de soufre en cristaux ou en poudre très-fine; à une température élevée, il se dégage en vapeur.

L'or et le palladium donnent des résultats semblables. Pour s'assurer avec exactitude de l'influence retardatrice du platine, on a exposé en même temps, dans le même vase, à l'action du même acide, des portions semblables de zinc uni et de zinc non uni. Le platine fut placé de chaque côté du zinc et à la distance d'un quart de pouce; il présentait au liquide une surface qui était environ un tiers de celle du zinc.

N° DE L'EXPÉRIENCE.	RAPPORT DE ZINC DISSOUS. uni.	seul.	TEMPÉRATURE.		
1	1	2,065	168°	à	170 cent.
2	1	2,255	203	à	206
3	1	2,347	221	à	233
4	1	3,000	238	à	240
5	1	3,208	242		
6	1	1,478	250	à	270
7	1	1,335	265		

A l'inspection de ce tableau, on voit que la plus grande différence dans la quantité de zinc dissous a lieu à la température de 242°, où l'action de l'acide est réduite à moins d'un tiers par le contact du platine.

M. Thomas Andrews a cherché ensuite si la distance des plaques de platine et des plaques de zinc n'exerçait pas une influence sur les effets produits; il a reconnu que l'action de l'acide sur le zinc augmente avec la proximité du platine, comme dans les circuits voltaïques ordinaires. Outre la distance, il a eu égard dans ses expériences à l'étendue de la surface de platine. Le tableau suivant donne les résultats obtenus en faisant varier et les distances et les surfaces:

N° DE L'EXPÉRIENCE.	DISTANCE entre le platine et le zinc.	SURFACE de platine, zinc = 1.	RAPPORT de la surface du platine.	RAPPORT du zinc dissous.	TEMPÉRATURE.
1	1/8 de pouce..	2,3 : 3,4.	.. 1 : 1,5 .	.. 1 : 878..	... 225°
2	1/8	4 : 12...	.. 1 : 3..	.. 1 : 890..	... 230
3	1/8	1 : 4...	.. 1 : 4..	.. 1 : 872..	... 225
4	1/2 pouce.....	1 : 7...	.. 1 : 7..	.. 1 : 920..	... 220
5	3/6 de pouce..	13 : 2...	.. 1 : 15..	.. 1 : 822..	... 205
6	3/10	1 : 9...	.. 1 : 9..	.. 1 : 837..	... 180

On voit par ces résultats que, bien que les variations dans l'étendue des surfaces, quand on les compare l'une à l'autre et à celle du zinc, soient très-considérables, néanmoins les quantités de zinc dissoutes ne présentent que de légères différences, et ne paraissent nullement influencées par les changements dans les surfaces de platine.

Dans d'autres expériences, M. Andrews a montré que l'augmentation des surfaces de platine tend à arrêter plus complétement l'action de l'acide sulfurique sur le zinc.

1458. Le fait suivant contraste avec les résultats précédents : si l'on chauffe séparément du mercure et du platine dans de l'acide sulfurique concentré, jusqu'à ce qu'il se produise une faible effervescence sur la surface, et qu'on les mette ensuite en contact, il y a aussitôt une violente réaction chimique.

Ce fait est d'autant plus remarquable, qu'il paraît que l'influence de l'amalgamation et du contact avec le platine, dans la solution de zinc, est inverse dans une solution d'acide sulfurique concentré.

1459. Les autres métaux qui peuvent décomposer l'acide sulfurique produisent des effets semblables : deux fils de fer semblables II′ (fig. 68) ont été placés dans un tube de verre contenant de l'acide sulfurique concentré ; I étant seul et I′ uni avec un fil de platine plus fin. En chauffant le liquide il se dégageait en I une grande quantité de gaz, tandis qu'il n'y avait aucun dégagement en

P ou I′ jusqu'à ce que la température fût portée à l'ébullition. Dans ce cas, il y avait une légère effervescence en *P*, et un faible dégagement de gaz sur I′. Avec l'étain les phénomènes se présentent avec l'acide froid comme avec le fer et le zinc. En élevant la température, il se dégage en même temps du gaz sur l'étain isolé et sur le platine. En chauffant l'étain uni et le platine dans un tube séparé, la quantité de gaz P devient très-considérable, mais beaucoup moindre que celle qu'on obtient auparavant sur la lame isolée.

Le bismuth ne donne pas de gaz dans l'acide froid.

En chauffant, la surface du bismuth isolé se recouvre d'une pellicule de gaz, et bientôt après celle du bismuth uni. En continuant à chauffer, il se dégage du gaz du platine du bismuth isolé, mais en plus grande quantité sur ce dernier. Le bismuth uni n'en donne presque pas.

L'antimoine se comporte de même.

L'argent ne donne point de gaz à froid, mais en chauffant, l'argent isolé et l'argent uni s'obscurcissent presque en même temps. Dès l'instant que la chaleur s'élève, le gaz se dégage abondamment de l'argent isolé, et en plus petite quantité de l'argent uni et du platine.

Avec l'arsenic et le mercure, nulle action à froid. En chauffant l'acide, le dégagement de l'acide sulfurique paraît à peine diminuer, si toutefois il l'est, par l'union de ces métaux avec le platine. La quantité de gaz dégagé à la surface de platine est très-faible.

En résumé, nous voyons que le dégagement de l'hydrogène ne se présente, par l'immersion dans l'acide froid, qu'avec le zinc, le fer et l'étain. Les effets qu'on obtient avec un couple platine et zinc nous fournissent un exemple remarquable de la cessation d'actions chimiques par suite de l'état de polarisation qu'acquiert dans cette circonstance la lame de zinc. On ne peut s'empêcher de reconnaître dans ces phénomènes une analogie avec l'action de l'acide nitrique concentré sur le fer.

Avec le fer et le zinc, le dégagement de gaz est entière-

ment transporté de la surface de ces métaux sur celle du platine avec lequel ils sont en communication.

Avec le bismuth, l'antimoine, l'étain, il y a un faible dégagement de gaz sur la surface du métal qui est dissous; avec l'argent, la quantité de gaz est presque la même sur le platine et sur l'argent, tandis qu'avec l'arsenic et le mercure, le platine donne à peine un peu de gaz.

On obtient des résultats semblables avec l'acide nitrique; aussi M. Thomas Andrews n'a-t-il pas craint d'énoncer le principe suivant : l'action chimique ordinaire d'un oxacide sur les métaux qui s'y dissolvent, est, en général, diminuée quand l'acide est concentré, par l'association voltaïque de ces métaux avec des métaux, comme le platine, l'or, etc.; mais au contraire elle est augmentée quand l'acide est étendu.

§ IV. *Pile voltaïque construite d'après les principes exposés dans les chapitres* Ier, *etc.*

1460. L'interposition d'un diaphragme poreux entre deux liquides qui réagissent chimiquement l'un sur l'autre, est un puissant moyen de faire naître des courants électriques énergiques, capables de produire de grands effets de décomposition et de recomposition, comme j'en ai cité un grand nombre d'exemples dans le cours de cet ouvrage.

M. W. Grove s'est servi de ces mêmes diaphragmes pour étudier les courants électriques et construire une pile possédant une grande énergie électro-chimique. Il a cherché d'abord à expliquer le fait de la dissolution rapide de l'or dans l'eau régale, dissolution qui ne peut s'effectuer dans aucun des deux acides séparés. Le diaphragme dont il s'est servi est la tête d'une pipe à fumer, laquelle fut fixée au fond d'un petit verre avec du mastic; on versa dans la première de l'acide nitrique pur, et dans le verre de l'acide hydro-chlorique, au même niveau; deux feuilles d'or furent laissées pendant une

heure dans ce dernier acide, sans qu'elles eussent éprouvé la moindre altération. On plongea ensuite dans l'acide nitrique un fil d'or qu'on mit en communication avec l'une des feuilles de même métal; la feuille touchée fut aussitôt dissoute, tandis que l'autre ne fut pas attaquée.

Pour s'assurer s'il y avait endosmose et exosmose, M. Grove colora l'acide nitrique avec un peu de tournesol; quand la communication fut établie, l'acide hydrochlorique ne fut pas coloré. Une solution de nitrate de cuivre ayant été substituée à l'acide nitrique, l'effet fut semblable, seulement la dissolution d'or se fit lentement; mais il ne se fit aucun précipité sur le métal négatif.

Ces divers résultats montrent qu'aussitôt que le courant électrique, résultant de la réaction des deux acides l'un sur l'autre, à travers le diaphragme, est établi, ces deux acides sont décomposés : l'hydrogène de l'acide hydro-chlorique s'unit avec une portion de l'oxigène de l'acide nitrique, et le chlore attaque l'or. Dans la réaction des deux acides, l'acide nitrique prend l'électricité positive et l'autre acide l'électricité négative; il en résulte que la feuille ou le fil d'or qui se trouve dans l'acide hydro-chlorique est le pôle positif du couple voltaïque.

M. Grove, frappé de cette action, qui était à prévoir d'après les effets produits par l'élément de ma pile à oxigène, eut l'idée qu'en substituant le zinc à l'or positif, on devait avoir une combinaison très-puissante; l'expérience est venue confirmer ses prévisions. En effet, une seule petite paire consistant en une lame de zinc amalgamé, d'un pouce de long et d'un quart de pouce de largeur, un cylindre de platine de trois quarts de pouce de hauteur, la tête d'une pipe à fumer et un peu d'acide composent un élément voltaïque qui décompose facilement l'eau acidulée avec l'acide sulfurique. Dans cette combinaison, l'action est constante, et il n'y a aucun précipité sur chacun des métaux.

En substituant une solution de potasse pure à l'acide hydro-chlorique, c'est-à-dire en prenant l'élément de la pile à courant constant que j'ai décrite précédemment,

l'action a été également puissante. Le premier arrangement, suivant M. Grove, est préférable à celui-ci, en raison de la cristallisation du nitrate de potasse qui, s'effectuant dans les pores de la terre de pipe, obstrue ou fait briser le diaphragme.

L'acide nitrique concentré et l'acide sulfurique étendu de 5 ou 6 parties d'eau peuvent être employés avec avantage, sans craindre d'attaquer le platine; seulement il faut avoir l'attention que l'acide nitrique soit toujours concentré, car dès l'instant que cet acide a perdu une quantité telle de son oxigène que l'hydrogène, au lieu d'être absorbé, soit dégagé sur la surface du platine, l'action s'abaisse et n'est plus constante.

M. Grove a disposé une pile ronde, n'ayant que 4 pouces de diamètre et 1 pouce $\frac{1}{4}$ de hauteur et composée de 7 petits verres avec pareil nombre de têtes de pipes, présentant en tout une surface de 20 pouces carrés. Quand cette pile est convenablement établie, elle donne à peu près 1 pouce cube de gaz par deux minutes, et paraît avoir autant de force qu'une pile ordinaire de 50 ou 60 éléments.

J'ai formé avec M. Grove une pile de ce genre avec douze éléments, composés chacun d'une lame de zinc amalgamé de 1 décimètre de haut et de 6 centimètres de largeur, et d'une lame de platine de mêmes dimensions. Les liquides employés étaient de l'eau salée et de l'acide nitrique concentré. Le zinc plongeait dans la première et le platine dans l'acide. Le diaphragme était un cylindre de porcelaine légèrement cuite et non enduite d'une couverte. Les effets de déflagration produits avec cette pile avaient une grande énergie, ainsi que les effets de décomposition.

CHAPITRE III.

PILE A COURANT CONSTANT DE M. DANIELL.

§ Ier. *Premières dispositions.*

1461. Les principes exposés précédemment ont montré que pour obtenir des courants constants avec des appareils voltaïques, il était nécessaire de mettre le zinc et le cuivre, chacun, dans une case particulière, de séparer les deux cases par une membrane transmettant le courant, et de mettre dans chacune d'elles un liquide capable d'empêcher les produits secondaires de se former sur les lames, d'où résultent des courants en sens inverse, qui affaiblissent à chaque instant l'action du courant primitif.

Les choses en étaient là lorsque M. Daniell a repris la question, qu'il a analysée avec sagacité. Ses recherches (1) l'ont mis à même de doter la science d'une pile construite d'après les principes précédents, et qui est aujourd'hui généralement adoptée dans les expériences de physique.

Je vais commencer par exposer les premières recherches que ce physicien a faites à ce sujet, parce qu'elles l'ont conduit à des résultats intéressants.

abcd (fig. 69) représente un pied de verre, dans lequel se trouve une cavité *efgh*, dont la partie supérieure est terminée par un plan d'arrêt *gh*. Les tiges de

(1) Trans. philos. 1836.

deux plaques *ijk*, *lmn* traversent ce plan, puis la partie inférieure de la cavité est divisée en deux cellules par la cloison *op*. Les deux cellules contiennent du mercure, dans lequel plongent les fils respectifs. Cet arrangement permet de changer facilement les plaques; d'un autre côté, elles peuvent être mises en communication entre elles, ou avec les plaques d'autres cellules semblables, au moyen des fils *pq*, passant par des ouvertures latérales *in*. On adapte au socle de verre un châssis également en verre *vwxyzz*, afin d'avoir une cellule pour recevoir le liquide. Un tube de verre gradué AB peut être suspendu au-dessous de l'une ou l'autre plaque, au moyen d'une pièce de cuivre ajustée comme on le voit dans la fig. 70, qui représente un appareil circulaire de dix cellules semblables à celle dont je viens de donner la description. Des coupes de mercure *ghi* permettent d'établir les communications comme on le veut.

La fig. 71 représente la section d'une cellule disposée pour le même objet, mais d'une construction moins dispendieuse; cette cellule est supportée par une table perforée *v wyx*, et les tiges des plaques passent par l'obturateur, ou instrument d'arrêt *abcd*, pour se rendre dans les coupes extérieures de mercure *o*, *p*, au moyen desquelles on peut établir toutes les communications.

Les plaques employées sont de platine et de zinc amalgamé, ayant chacune 3 pouces de long sur 1 po. de large; et le liquide interposé est un mélange de 100 vol. d'eau et de 2 $\frac{1}{4}$ vol. d'acide sulfurique, qui est presque sans action sur le zinc amalgamé.

On ajoute à l'eau acidulée une petite quantité d'acide nitrique; la plaque de zinc amalgamé est dissoute en quelques heures sans dégagement d'hydrogène quand le circuit est fermé.

1462. Voyons les principaux résultats obtenus avec cette pile, chargée, comme on vient de le dire, avec de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, et une petite quantité d'acide nitrique. La plaque amalgamée prise isolément, comme on le savait déjà, ne donne lieu à aucun

dégagement de gaz, tandis que le dégagement est très-abondant quand la communication est établie avec la lame de platine correspondante. Si l'on prend deux éléments et que l'on mette en rapport les deux plaques de zinc d'une part, et les deux plaques de platine de l'autre, on n'observe aucun effet, et cela par suite de la production de deux courants en sens contraire. En substituant à la seconde cellule une autre cellule chargée avec une solution d'iodure de potassium, dans laquelle se trouve de l'amidon en suspension, les deux courants, dirigés en sens inverse, n'ayant pas la même intensité, il en résulte des effets dus à la différence des deux intensités; il se précipite alors sur la lame de zinc amalgamé de l'iode, dont la présence est indiquée par la couleur bleue que prend l'amidon. Cette expérience prouve, d'une manière évidente, comme j'en ai déjà donné mille exemples, qu'il n'est pas nécessaire du contact de deux métaux différents pour obtenir un courant électro-chimique.

En faisant fonctionner tous les couples réunis, chargés avec de l'acide sulfurique, dans les proportions indiquées ci-dessus, on trouve que la somme d'action de chacun d'eux, évaluée par la quantité d'hydrogène recueillie dans chaque électromètre voltaïque, pendant des temps égaux, n'est pas la même, bien que tout soit semblable de part et d'autre. La différence entre la plus grande et la plus petite quantité est d'environ un tiers. Cette inégalité peut provenir de différences dans les distances des plaques ou dans les surfaces amalgamées. En les réunissant ensemble, dans une seule série circulaire, chaque plaque donne alors la même quantité de gaz; cette quantité est plus faible que celle que l'on obtient dans la cellule où on avait eu le minimum d'effet.

Pour faire ces deux expériences, on réunit d'abord toutes les plaques de platine au moyen de fils de même métal qui se rendent dans une capsule centrale et remplie de mercure, et toutes les plaques de zinc avec des fils passant dans un anneau de même métal, fixé dans la coulisse *abcdef*; puis l'on établit la communication entre les deux

systèmes au moyen d'un fil de métal; il y a dégagement de gaz dans toutes les cellules. L'inégalité d'action se montre comme lorsque les couples agissaient séparément. Cet arrangement transforme évidemment la pile en un appareil composé d'un seul élément.

Mettant à part les inégalités d'action, on trouve que les cellules, dans les deux cas, produisent et dépensent la même quantité de force; mais quand elles sont réunies en séries, le fil de communication ne transporte pas d'une cellule à l'autre plus que la quantité fournie par la première, comme l'a démontré M. Delarive; tandis que dans le circuit simple, la quantité entière produite dans les cellules doit passer à travers le fil central de communication. Dans ce dernier cas, la quantité peut se manifester par une élévation de température, dans un fil fin de platine placé dans le circuit. Quant à l'intensité de la force qu'on trouve dans le premier cas, et qui dérive des impulsions répétées de la disposition en séries, elle se manifeste par des étincelles dans les solutions de continuité du conducteur, tandis qu'une quantité dix fois plus considérable est arrêtée par la plus faible solution de continuité dans le circuit simple. Ces faits ont déjà été remarqués depuis longtemps dans l'étude comparative qui a été faite des piles à grand et à petit nombre d'éléments.

1463. En combinant les cellules par paires, et mettant en connexion deux plaques de platine et deux plaques de zinc, puis les cinq paires en séries, au moyen de fils allant de chaque paire de zinc à la paire voisine de platine, la quantité de gaz recueillie dans chaque électromètre voltaïque est la même. Elle n'excède que de très-peu celle de l'appareil en séries simples. L'arrangement équivaut à une série de cinq plaques de dimension double de la dimension primitive, et la quantité d'électricité qui circule est déterminée par la paire la moins efficace; en conservant une paire de cellules réunies, et séparant les autres afin de les faire agir en séries simples avec elles, l'effet est celui d'une

plaque de dimension double, interposée dans un circuit composé de huit paires simples. Dans ce cas, le gaz recueilli dans chacun des électromètres voltaïques de la double cellule est exactement la moitié de celui des électromètres voltaïques des cellules simples.

L'effet régulateur des séries voltaïques, qui égalise toutes les irrégularités de ses éléments, montre que le courant qui circule doit être uniforme dans son cours.

Pour trouver les effets de retard des diverses cellules sur les éléments de la batterie, on réunit ensemble les cellules en séries simples, en substituant une plaque de platine à une plaque de zinc; l'obstacle réagit alors sur toute la série; l'action est réduite de plus d'un tiers, et la quantité de gaz recueillie dans chaque cellule génératrice est égale à la quantité d'hydrogène recueillie dans la cellule de retard. En opérant un changement semblable dans la cellule suivante, la quantité d'hydrogène, dans tous les électromètres voltaïques, est égale, mais réduite à un peu moins de $\frac{1}{10}$, et le courant est tout à fait arrêté par trois cellules de retard dans les sept cellules génératrices.

Lorsqu'on enlève une des plaques de zinc des séries régulières, et qu'on la remplace par une plaque de platine recouverte d'une couche de cuivre au moyen de la décomposition électro-chimique d'un sel de cuivre, on obtient les effets suivants : aucun dégagement de gaz n'a lieu sur la plaque recouverte de cuivre; ce dernier s'oxide lentement; l'oxide se dépose graduellement, et l'on voit reparaître la surface de platine, puis des bulles de gaz oxigène.

1464. Opérons maintenant avec le système fig. 71. Les deux plaques de platine *ij*, *lm* communiquent ensemble avec une coupe de mercure *p*, tandis que la plaque de zinc interposée est en relation avec l'autre coupe *o*. Cet arrangement est le même que celui d'un couple de la batterie à la Wollaston. En combinant les cellules ainsi disposées en séries simples, on recueille presque autant de gaz de chacun des côtés opposés aux plaques généra-

trices qu'on en avait recueilli, dans un temps égal, d'une plaque seule; dans ce cas, la double surface du platine permet à la plaque de zinc de décomposer presque une double quantité d'eau.

Dans ces dernières expériences, les bulles d'hydrogène se dégagent de chacune des deux faces de chaque lame.

1465. M. Daniell a eu occasion de remarquer fréquemment, comme on le savait déjà, dans le cours de ses recherches, que l'hydrogène et les autres gaz qui adhèrent aux électrodes exercent une grande influence sur l'action chimique, et, par suite, sur l'intensité du courant. Il considère la matière gazeuse comme s'étendant d'elle-même sur le métal, comme le fait une goutte d'huile volatile que l'on répand sur une large surface d'eau. Il ne lui paraît pas impossible, et je partage son opinion à cet égard, que l'efficacité des plaques conductrices des appareils voltaïques puisse dépendre en partie, sinon entièrement, de l'étendue de surface qu'elles présentent pour cette diffusion du gaz. Pour s'assurer jusqu'à quel point cette conjecture était fondée, il a réduit la largeur des plaques de zinc dans la batterie, en les partageant d'abord en deux, et diminuant ensuite leurs dimensions de manière à n'avoir plus que des fils amalgamés de $\frac{1}{8}$ de pouce de diamètre et de trois pouces de long; il a trouvé que, dans ce dernier cas, ces fils étaient aussi efficaces que des plaques larges d'un pouce, et que, sous leur influence, les plaques conductrices dégageaient autant de gaz, dans d'égales portions de temps, que lorsqu'on les unissait avec des surfaces génératrices plus grandes.

1466. Il était important de reconnaître quelle différence il y avait, sous le rapport de l'intensité de l'action chimique, entre le zinc ordinaire et même le fer et le zinc amalgamé. En substituant des plaques de zinc ordinaire aux plaques de zinc amalgamé, on obtient les résultats suivants : avec des plaques de zinc ordinaire, lorsque l'action chimique est très-forte seulement, il se dégage autant de gaz du platine que lorsque celui-ci est combiné avec le zinc amalgamé.

Avec le fer, son action dans la batterie est presque nulle; une faible action locale a lieu sur les plaques elles-mêmes, mais le dégagement de gaz sur le platine est à peine sensible. Si l'on remplace les plaques de platine par des lames de zinc amalgamé, les plaques de fer se comportent comme celles de platine, qu'elles surpassent en efficacité. La quantité de gaz recueillie dans les électromètres voltaïques en séries est presque double de celle de la batterie dans son état normal.

Cette expérience ayant été répétée avec des plaques nouvelles de fer, l'effet fut moindre; il en résulte que l'accroissement d'action doit être attribué à ce que les plaques de fer avaient été préalablement mises en opposition avec les plaques de platine.

1467. Voyons actuellement les effets produits quand on modifie la composition du liquide interposé : en ajoutant à l'eau acidulée un volume d'acide nitrique égal à celui de l'acide sulfurique, la quantité d'hydrogène dégagée dans les cellules est diminuée, et son dégagement est irrégulier.

Ayant substitué à l'une des cellules un électromètre voltaïque composé de deux lames de platine en relation avec le système, la quantité d'hydrogène qu'il indiquait dans les premiers instants, était presque triple de celle de la batterie dans son état normal; mais l'action diminuait rapidement dans l'espace de cinq minutes. En rompant la connexion avec le circuit, cette énergie revenait en partie, pendant la cessation très-courte de l'action; il en était encore de même en retournant l'électromètre voltaïque. Si l'on ajoutait de l'acide nitrique au liquide, le dégagement de l'hydrogène s'arrêtait quelquefois dans une des cellules, tandis que dans d'autres il continuait dans une proportion faible et inégale. L'intensité du courant augmentait en même temps, et diminuait rapidement à mesure que l'action continuait.

Pour remonter à la cause de ces variations, M. Daniell a laissé la batterie s'épuiser d'elle-même, pendant trente heures; au bout de ce temps, il se dégageait à peine

quelques bulles de gaz dans l'électromètre voltaïque. Les plaques de platine ayant été enlevées, on leur en substitua de nouvelles, et la communication fut rétablie; l'action recommença presque avec la même activité qu'en premier lieu; seulement l'abaissement fut plus rapide que dans le premier cas. En opérant avec des lames de fer au lieu de lames de platine, le renouvellement de l'action eut encore lieu.

Cette diminution dans l'action provenait de l'état des surfaces des plaques de platine. Celles-ci ayant été polies avec de la pierre ponce, puis chauffées jusqu'au rouge, et plongées ensuite dans une forte solution de potasse, on n'obtenait aucun effet. Elles ne recouvraient leurs propriétés qu'après avoir été mises en contact avec les acides nitrique ou hydrochlorique bouillants.

Les plaques de platine qui ont fonctionné pendant longtemps ont leurs surfaces remplies d'aspérités, comme si le métal avait été corrodé; mais il est facile de reconnaître que ces aspérités sont dues à un dépôt de zinc métallique qui tend à produire un effet en sens contraire; lorsque la batterie fonctionne pendant longtemps, la couche de zinc se détache en lames.

1468. Si, dans la solution, il y a un oxide de cuivre, il est précipité, préférablement à l'oxide de zinc; les plaques qui sont recouvertes du premier métal sont, jusqu'à un certain point, protégées contre le dépôt du dernier. En ajoutant néanmoins au liquide des cellules une grande quantité de sulfate de cuivre, malgré l'amalgamation du zinc, il y a une action locale assez forte sur ce métal pour que le cuivre commence à s'y précipiter.

Dans ces expériences, l'effet désoxidant de l'hydrogène, d'où résulte un dépôt métallique, nuit évidemment à la force de circulation du courant, surtout lorsque ce dépôt a une forte affinité pour l'oxigène de l'électrolyte. Si donc l'on parvient à enlever l'hydrogène, au moyen de combinaisons qui ne donnent pas naissance à de semblables précipités, on facilite évidemment la

circulation et la permanence du courant; l'addition de l'acide nitrique à la charge de la pile produit de bons effets, puisqu'il enlève l'hydrogène.

Il est bien certain que l'oxigène de cet acide, et même l'azote, agissent comme déshydrogénants; car si l'on neutralise avec du carbonate de soude la charge épuisée de l'une des cellules, on obtient non-seulement abondamment de l'ammoniaque par la chaux, mais encore un fort précipité de chlorure ammoniacq de platine, avec une solution de chlorure de ce métal.

§ II. *Pile à courant constant.*

1469. Les effets secondaires dont il a été question dans le paragraphe précédent empêchent d'obtenir des effets constants avec des piles ordinaires; c'est ce motif qui a engagé M. Daniell à construire la pile dont je vais donner la description.

La fig. 72 représente la coupe d'une cellule dont la réunion au nombre de dix constitue la batterie (fig. 73). *a b c d* est un cylindre de cuivre de 6 pouces de haut et de 3 pouces $\frac{1}{2}$ de large. Il est ouvert à sa partie supérieure *a b*, et fermé à sa base, à l'exception d'une partie *e f* de 1 pouce $\frac{1}{2}$ de large, destinée à recevoir un morceau de liége auquel est adapté un tube de verre à siphon *g h i j k*.

Au sommet *a b*, deux supports horizontaux soutiennent un goulot de cuivre correspondant avec celui du bas. Avant de mettre en place le liége à travers lequel passe le tube à siphon, on fait passer par le col inférieur *e f* un tube membraneux, formé avec une partie d'estomac de bœuf, et on l'attache avec un fil retors à l'ouverture supérieure *l m n o*. Il résulte de cet arrangement une cavité intérieure, communiquant avec le tube à siphon de telle manière que lorsqu'on la remplit d'un liquide jusqu'au niveau *o m*, la moindre addition de liquide le fait couler par l'ouverture *k*. Il peut donc s'échapper par là autant de gouttes qu'il en arrive par en

haut. *p q* est une lame de zinc fondu amalgamé, de six pouces de haut et d'un demi-pouce de large; elle est supportée sur le bord de l'ouverture supérieure par une planche de bois *r s*, passant par un trou foré à son extrémité supérieure; *t* et *u* sont des coupes remplies de mercure destinées à établir la communication avec les différentes cellules au moyen de fils métalliques.

Dans la fig. 73, les dix cellules sont réunies en simples séries; le zinc de l'une communique avec le cuivre de la suivante, ainsi de suite; ces cellules reposent sur une petite table circulaire dans laquelle sont pratiquées des ouvertures pour les tubes à siphon qui dégorgent dans un bassin placé au-dessous; un entonnoir plus petit repose au-dessus de la cavité intérieure de chaque cellule.

Cette disposition est absolument la même que celle qui a été décrite plus haut (1461). En l'adoptant, M. Daniell a eu pour but d'enlever du circuit intérieur l'oxide de zinc qui nuit à l'action de la batterie, aussitôt que sa solution se forme, et d'absorber l'hydrogène dégagé sur le cuivre sans la précipitation d'aucune substance capable de détériorer ce métal.

La première condition est remplie en suspendant la lame de zinc dans la cellule membraneuse intérieure, où de l'eau acidulée tombe lentement de l'entonnoir supérieur, tandis que la solution plus pesante qui se forme sort en même proportion par le tube à siphon. Quand les deux cellules sont chargées avec la même dissolution acide, et que la communication est établie entre le zinc et le cuivre, au moyen d'un fil de platine de $\frac{1}{100}$ de pouce de diamètre, le fil s'échauffe au rouge, et la membrane humide ne présente point d'obstacle au passage du courant.

La seconde condition s'obtient en remplissant l'espace extérieur d'une solution saturée de sulfate de cuivre au lieu d'une dissolution acide. Le courant circule lentement, et le cuivre réduit par l'hydrogène se précipite sur le cylindre de cuivre.

Lorsque la batterie est montée, il ne se dégage pas de

gaz sur aucune des plaques; mais si l'on introduit un électromètre voltaïque dans le circuit, il y a une action très-énergique, qui est plus permanente que celle de la batterie ordinaire, mais qui va en diminuant graduellement. Cet effet ne peut provenir que de l'affaiblissement de la solution de sulfate de cuivre, qui est décomposée peu à peu par le courant.

On obvie à cet inconvénient en suspendant du sulfate de cuivre solide dans de petits sacs de mousseline qui plongent un peu au-dessus de la surface de la solution dans les cylindres. Ce sulfate, en se dissolvant à mesure que la précipitation du cuivre a lieu, maintient la solution dans un état de saturation. Depuis, le sel a été placé dans un tamis de cuivre perforé, fixé à l'ouverture supérieure. Au moyen de cet arrangement, le courant reste constant pendant plusieurs heures. La fig. 74 représente une coupe de l'appareil additionnel : *acfh* est le tamis, *bdeg* l'orifice central qui repose par un petit rebord sur les côtés du cylindre; la membrane est placée autour des bords du goulot et fixée avec du fil.

En chargeant d'abord l'appareil avec la solution précédemment indiquée, on trouve, après qu'elle a fonctionné pendant dix minutes, que la quantité moyenne de gaz mêlés, recueillie dans l'électromètre voltaïque, pendant cinq minutes, est de 2, 1 pouces cubiques; les résultats ne varient que de 0,1.

Les expériences ont été faites avec la solution de sulfate de cuivre dans la cavité extérieure des cellules, et en doublant la force de la solution acide dans la cavité intérieure. La quantité moyenne de gaz dégagée dans l'électromètre voltaïque a augmenté jusqu'à 3, 8 pouces cubiques, pour cinq minutes. L'électromètre ayant été retiré du circuit, puis le circuit refermé de nouveau, et l'électromètre replacé, le résultat a été le même. L'addition d'acide nitrique à la solution de sulfate réduisait de nouveau le rapport à 2, 1 pouces cubiques.

1470. On a remarqué qu'à la première immersion du zinc, l'effet de la batterie est toujours un peu plus

élevé que lorsqu'il est bien fixe. Il pourrait se faire que cet effet dépendît du dégagement d'une petite quantité d'hydrogène provenant d'une action locale sur le zinc, laquelle adhérant à la surface s'opposerait faiblement à l'action de l'acide.

Les résultats qui suivent, obtenus dans une série d'expériences, prouvent que cette action est faible. Les dix tiges de zinc pesaient 2 livres $\frac{1}{4}$ et 13 grains (15763 grains). La force de l'acide a été triplée en ajoutant 6 $\frac{3}{4}$ mesures d'acide sulfurique à 100 mesures d'eau. Outre l'électromètre dont j'ai déjà parlé, on a fait usage d'un grand électromètre voltaïque dont les plaques avaient 3 pouces sur 1.

GRAND ÉLECTROMÈTRE VOLTAÏQUE.

TEMPS.	QUANTITÉ DE GAZ en pouces cubiques.	MOYENNE par quart d'heure.	MOYENNE par cinq minutes.
h. m.			
11 24			
11 39	16	16	5,3
11 45			
11 60	30	14	4,6
12 3			
12 18	44	14	4,6
12 19			
12 34	58	14	4,6
12 49	71	13	4,3
PETIT ÉLECTROMÈTRE VOLTAÏQUE.			
12 51			
12 56			4,6
12 58			
1 3			4,6
HYDROGÈNE ENLEVÉ PAR L'AGITATION DES TIGES.			
1 6			
1 11			4,9

GRAND ÉLECTROMÈTRE VOLTAÏQUE.

TEMPS.	QUANTITÉ DE GAZ en pouces cubiques.	MOYENNE par quart d'heure.	MOYENNE par cinq minutes.
1 16			
1 29	85	14	4,6
1 31			
2 1	27	13,5	4,5
2 31	54	13,5	4,5
3 1	82	14	4,5

La quantité de gaz mêlés qu'on a recueillie s'élevait à 186 pouces cubiques, ou à 188,68, avec la correction de la pression. Les tiges de zinc enlevées des cellules, lavées et séchées, avaient perdu 93,3 grains.

Or, la quantité de zinc équivalente à 188 pouces cubiques du mélange de gaz était de 86,1 grains; la différence 7,2 provenait probablement de la petite quantité d'amalgame tombée des lames.

Or, pour cette quantité de zinc, 166,5 grains de cuivre ont dû être précipités sur chaque cylindre de cuivre. En examinant les cellules après l'expérience, on a trouvé le cuivre précipité non-seulement sur le cylindre, mais encore à la surface intérieure des tamis, ainsi que dans plusieurs parties de la membrane.

1471. En cherchant à améliorer le pouvoir conducteur du liquide, M. Daniell a trouvé qu'en employant de l'acide sulfurique quatre fois plus fort, le résultat était très-ferme, et que pendant cinq minutes le grand électromètre fournissait 5,0 pouces cubiques de gaz.

Enfin il a voulu comparer ensemble les effets de la batterie constante avec une batterie à auges, composée de dix plaques à la Wollaston, de quatre pouces carrés. La charge a été opérée avec un mélange de 100 pouces d'eau, 2 $\frac{1}{4}$ d'acide sulfurique et 2 d'acide nitrique, et on a mis dans le circuit le petit électromètre voltaïque.

Le tableau suivant renferme les résultats obtenus pendant des intervalles de cinq minutes :

TEMPS.	QUANTITÉ de gaz, pouces cubiq.	MOYENNE pour 5 minutes, pouces cubiques.	TEMPS.	QUANTITÉ de gaz, pouces cubiq.	MOYENNE pour 5 minutes, pouces cubiques.
h. m.			h. m.		
10 22..			11 19..	électromètre rempli.	
10 27..	.... 2,5	 2,5	11 24..	.... 1,3	... 1,3
10 32..	.... 4,6	 2,1	11 29..	.... 2,2	 0,9
10 34..	électromètre rempli.		11 34..	.... 3,0	 0,8
10 39..	.... 2,6	 2,6	11 39..	.... 3,55....	 0,55
10 44..	.... 4,4	 1,8	11 44..	.... 4,1	 0,55
10 46..	électromètre rempli.		11 49..	.... 4,5	 0,4
10 51..	.... 2,8	 2,8	11 54..	.... 4,9	 0,4
10 56..	.... 4,9	 2,1	11 59..	.... 5,25....	 0,35
10 57.	électromètre rempli.		12 0..	électromètre rempli.	
11 2..	.... 2,4	 2,4	12 15..	.... 0,9	 0,3
11 7..	.... 4,2	 1,8	12 30..	.... 1,7	 0,26
11 8..	électromètre rempli.		12 45..	.... 2,25....	 0,26
11 13..	.... 1,8	 1,8	1 0..	.... 2,75....	 0,25
11 18..	.... 3,2	 1,4	1 58..	batt. laissée en communic.	
11 19..	électromètre rempli.		2 13..	.... 0,1	 0,03

Ces résultats montrent d'une manière frappante les irrégularités particulières de la batterie voltaïque ordinaire.

En résumé, voici les avantages de la pile à courant constant :

1° Abolition de toute action locale irrégulière, par suite de la présence du mercure sur le zinc.

2° Faible dépense du remplacement des lames de zinc quand elle sont usées, et absence totale de toute perte de cuivre.

3° L'inutilité de l'emploi d'acide nitrique et substitution du sulfate de cuivre à l'acide sulfurique.

4° Facilité et perfectionnement des communications métalliques entre toutes les parties de la pile.

1472. On a vu que les plaques d'un électromètre larges de six huitièmes de pouce dégageaient la même

quantité de gaz que deux plaques de platine d'un pouce de large et de même hauteur, mises dans une cellule de la batterie. Les résultats obtenus avaient montré aussi qu'il n'y avait pas de différence entre les indications du petit et du grand électromètre, dont les plaques avaient trois pouces sur un, et qu'il en était encore de même quand les distances des plaques de zinc et de cuivre variaient.

Dans une autre série d'expériences, les plaques de l'électromètre voltaïque ont été réduites à $\frac{1}{8}$ de pouce de largeur, en conservant la hauteur de 3 pouces; la quantité de gaz recueillie a encore été la même, ainsi qu'avec des fils de $\frac{1}{10}$ de pouce de diamètre. La moyenne, en 5 minutes, était de 2,7 pouces cubiques. En recouvrant les fils d'un enduit résineux, de manière à ne laisser que $\frac{1}{4}$ de pouce d'exposé au liquide, les gaz dégagés dans le même temps s'élevaient à 2,3 pouces cubiques. En recouvrant en entier les fils de cet enduit, et ne mettant seulement à découvert queles points exrtêmes, on obtenait encore 0,8 de pouce cubique. Cette indépendance des résultats obtenus sur les surfaces métalliques de l'électromètre voltaïque contraste avec l'influence de la surface des plaques conductrices des cellules de la batterie.

On s'est assuré aussi qu'après une action non interrompue de cinq heures, sans renouvellement d'acide, le voltaïmètre n'indiquait qu'un abaissement de 2,7 à 2,4.

La batterie ayant fonctionné pendant 24 heures, on recueillait encore 0,9 de pouce cubique en un quart d'heure, ou 0,3 en cinq minutes. On a trouvé alors que l'acide était presque entièrement saturé; en versant dans le liquide de chaque cellule $\frac{3}{4}$ d'once d'une dissolution acide fraîche (la charge totale de chaque cellule était d'environ 5 $\frac{1}{2}$ onces), l'action non-seulement s'élevait à 2,7 pouces cubiques, mais encore à 4,2 pouces, après quoi l'action restait constante pendant plusieures heures. Cet accroissement d'action doit être rapporté à la supériorité du pouvoir conducteur de la solution.

La batterie a été ensuite chargée avec un acide de la même force que celui qui avait été employé dans les électromètres voltaïques, c'est-à-dire avec un mélange de 8 parties d'eau et d'une partie d'acide sulfurique ; dans ce cas, on a obtenu une action constante de 11 pouces cubiques en 5 minutes ; au moyen de ce mélange, il s'est formé 25 grains d'oxide de zinc, et il y a eu 154 grains de sulfate de cuivre décomposés dans chaque cellule, pendant une heure. La batterie néanmoins est restée constante sans qu'on ait eu besoin de changer d'acide.

1473. Le grand avantage que l'on avait obtenu en doublant la surface de cuivre a porté à s'assurer si l'on pouvait l'étendre davantage ; on a adapté à cet effet dans plusieurs cellules dix petites plaques d'un pouce, de manière à avoir une surface de cuivre trois fois plus considérable que celle de l'élément ; mais l'expérience n'a rien donné de bien satisfaisant relativement aux avantages qu'on pourrait avoir en donnant de l'extension à la surface de cuivre.

Ces expériences conduisent seulement à la conclusion, que la combinaison voltaïque la plus parfaite consisterait en une sphère solide de zinc entourée d'une sphère creuse de métal conducteur, avec une couche perpétuellement renouvelée de la solution interposée et un fil conducteur protégé contre la solution. Dans ce cas, la résistance de la solution augmenterait directement comme les distances des deux sphères ; tandis qu'en supposant cette résistance vaincue, la quantité de forces mise en circulation augmenterait comme le carré de cette distance depuis le centre, ou comme la surface de la sphère extérieure

§ III. *Influence de la chaleur sur l'action de la pile à courant constant.*

1474. Nous avons vu que lorsque la pile était chargée avec un mélange de 8 parties d'eau et d'une partie d'acide sulfurique du côté zinc, et une solution saturée de sulfate de cuivre du côté cuivre, on obtenait 11 pouces cu-

biques de gaz mêlés en 5 minutes; mais si l'on dissout le sulfate dans l'eau acidulée, la quantité de gaz augmente d'abord de 11 pouces à 13 pouces, puis successivement, comme on le voit dans la série suivante d'observations :

TEMPS.	INTERVALLE.	POUCES CUBIQUES de gaz.
h. m.		
11 0	»	»
11 5	5	13
11 10	5	26
11 15	5	39
11 20	5	52

En ajoutant une partie d'acide sulfurique à 8 parties de la solution saturée de sulfate, et versant immédiatement dans les auges le liquide dont la température est d'environ 50° centig., on obtient les résultats suivants, qui montrent le grand accroissement d'action dû à la chaleur, et sa diminution rapide avec l'abaissement de la température :

TEMPS.	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE. pouces cub.	MOYENNE de 5 min. pouces cub.
h. m.			
12 52	»	»	»
12 54	2	6,8	22
12 59	»	»	»
12 61	2	8	20
1 3	»	»	»
1 5	2	7,3	18,2
1 7	»	»	»
1 9	2	7	17,5
1 11	»	»	»
1 13	2	6,5	16,2
1 14	»	»	»
1 16	2	6	15
1 17	»	»	»
1 19	2	5,7	14,2
1 21	2	4,8	12

L'influence de la température sur l'action électro-chimique de la pile est bien établie par ces résultats. M. Daniell a déterminé ensuite l'effet particulier de différentes charges, en ayant égard à cette influence. Ayant versé une solution aqueuse de sulfate de cuivre dans les cellules extérieures, et de l'eau dans la cellule intérieure, il n'y eut pas de décomposition; la température était alors de 23° 33 cent. Quand l'eau fut chauffée à 37° 78, la décomposition commença; il se produisait 0,6 pouce cubique par cinq minutes; l'électromètre ayant été chauffé lui-même jusqu'à 47°, on obtint les résultats suivants :

TEMPS.	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE. pouces cub.	MOYENNE de 5 min. pouces cub.
m. h.			
11 21			
11 26	..... 5'	..... 0,8	 0,8
11 31	..... 10	..... 1,6	 0,8
11 31	..... 30	..... 5	 0,8

En versant une solution de sel ammoniac dans la proportion de deux livres de sel pour un gallon d'eau (4 litres environ), dans les cellules intérieures, et une solution aqueuse de sulfate de cuivre dans les cellules extérieures, on a eu :

	pendant 5 minutes. pouces cub.
à 23,33° hors de l'eau.....	5,5
à 34,44 dans l'eau..	8,8
à 51,12 dans l'eau.....	12,5

Une solution saturée de sel commun ayant été mise en contact avec le zinc et une solution saturée de sulfate de cuivre avec le cuivre, on a obtenu les résultats suivants à la température de 21° 11 centigrades :

TEMPS.	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE. pouces cub.	MOYENNE de 5 min. pouces cub.
h. m.			
11 11			
11 15	4	35	43
11 19	8	59	3
11 23	12	80	26
11 27	16	99	23
11 31	20	11,6	21
11 34			
11 54	20	4	40

On a mis ensuite dans chaque cellule intérieure une once d'acide hydro-chlorique liquide, et l'action n'a été qu'à 2,7 pouces cubes, par 5 minutes. On voit par là que la substitution des solutions de chlorures à l'acide sulfurique n'est point avantageuse. Avec ces solutions, lorsque le circuit est interrompu, le cuivre est attaqué, ce qui est un grave inconvénient.

1475. Pour combattre l'influence des hautes températures, les tubes membraneux ont été remplacés par des vases cylindriques de terre poreuse.

Ces vases cylindriques sont fermés à leur extrémité inférieure; leur diamètre est d'un pouce et demi, et leur hauteur est la même que celle des cellules de cuivre. Au fond se trouvent des rainures, dans lesquelles on place les tubes afin de les maintenir dans une position convenable; les plaques de cuivre sont perforées en tamis pour recevoir le sulfate de cuivre solide reposant sur leur extrémité supérieure. Ces tubes peuvent être facilement enlevés et replacés, et la facilité avec laquelle on les vide rend inutile l'emploi des siphons.

Il faut éviter de laisser cristalliser le sulfate du cuivre dans les pores de la terre, afin de ne pas briser les vases.

La conductibilité n'est pas aussi parfaite à travers cette terre qu'à travers les membranes; mais en employant le sulfate de cuivre, on obtient encore de 7 à 8 pouces cubes de gaz par minute, ce qui est bien suffisant pour les expériences ordinaires. Son action en outre est parfaite-

ment constante et soutenue, ce qui est un avantage précieux pour les recherches qui exigent de la précision.

La batterie ayant été préparée, comme on vient de le dire, on a pris un vase circulaire d'étain, destiné à fournir de la vapeur, et autour duquel on a placé les cellules sur des morceaux de bois; ces cellules ont été recouvertes de manière à pouvoir être mises à volonté en contact avec le tuyau d'une chaudière. Deux autres couvercles à trous furent aussi placés convenablement et arrêtés avec des morceaux de liége, disposés pour laisser passer les lames décomposantes quand le contact était établi. Voici les résultats qu'on a obtenus avec une série de 9 cellules :

Dès l'instant que la vapeur a commencé à entrer, l'énergie de la batterie fut augmentée, et, à la température de 27°, 78, son action fut presque doublée. En effet,

TEMPS.	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE VOLTAÏQUE, pouces cub.	MOYENNE de 5 m., pouces cub.	TEMPÉRATURE. °
h. m.				
10 0..	 1			
10 5..	..... 5	..... 7,5	..... 7,5	 58
10 10..	..... 10	..... 15	..... 7,5	 58
La vapeur introduite..... 110				
10 25				
10 30..	..... 5	..... 9	..... 9	 170
10 35..	..... 10	..... 20,5	..... 11,5	 195
10 40..	..... 15	..... 37	..... 16,5	 200
10 41..				
10 46..	..... 5	..... 19	..... 19	 205

Pour s'assurer si l'augmentation était due à un simple accroissement du pouvoir conducteur, ou bien à l'énergie de l'action chimique, on a fait fonctionner la batterie en introduisant dans son circuit un électromètre plongeant dans l'eau, dont la température pouvait être élevée à celle de l'ébullition. Les expériences commencèrent à la température de 14 degrés. Voici les résultats obtenus :

TEMPS.	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE VOLTAÏQUE, pouces cub.	MOYENNE DE 5 min., pouces cub.
h. m.			
11 25			
11 30	5	6,5	6,5
11 35	10	13	6,5
Électromètre chauffé à 54°, 44.			
11 46			
11 51	5	6,5	6,5
Électromètre chauffé rapidement à 100°.			
11 56	10	14	7,5
12 1	15	21,5	7,5
12 6	20	29	7,5
La batterie elle-même fut ensuite élevée par la vapeur à 57°, 22.			
2 10	1		
2 15	5	17	13.

On renferma ensuite une cellule dans le circuit, chargée d'acide froid et sans surface de cuivre.

TEMPS.	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE, pouces cub.	MOYENNE DE 5 min., pouces cub.
h. m.			
2 10			
2 25	5	8	8
Cellule froide enlevée.			
2 30	10	20	12
Cellule froide ranimée avec du sulfate de cuivre.			
2 35	15	29,6	9,5
La température de la batterie fut ensuite élevée jusqu'à 71°.			
2 38			
2 43	5	11	11
2 47	4	20,5	14.

On voit par là qu'un simple accroissement du pouvoir conducteur paraissait exercer de l'influence sur l'électromètre voltaïque avec les électrodes de platine, tandis

que l'accroissement de l'énergie de l'affinité était détruit quand on enfermait dans le circuit une cellule dont les pouvoirs n'avaient pas été exaltés par l'accroissement de température communiquée aux autres.

1476. Je dois mentionner quelques phénomènes inattendus, produits quand on chauffait la batterie dans le vase à vapeur : il est fréquemment arrivé que lorsque le thermomètre avait atteint à peu près le point d'ébullition, et que l'action de la batterie était à son maximum, cette action cessait tout à fait. Cette suspension durait pendant des heures, pourvu qu'on maintînt la température élevée. En chassant dehors la vapeur et refroidissant rapidement le vase qui contenait la pile, l'action recommençait aussi rapidement qu'elle avait cessé, mais en n'atteignant pas le même degré d'élévation, puisque cette action tombait de 20 à 14 ou 15 pouces cubiques. En faisant rentrer de la vapeur, elle s'arrêtait de nouveau, et ainsi de suite. Nul doute que la cause de ce phénomène ne fût due à l'action inégale de la chaleur sur les différents éléments de la batterie, d'où résultaient des courants thermo-électriques et une excitation inégale de la part de la vapeur sur les deux métaux. J'entrerai plus loin dans quelques détails à cet égard.

M. Daniell a trouvé effectivement, en chauffant et refroidissant la batterie, une différence de 3 à 6 degrés entre la température du liquide en contact avec le zinc et celle du liquide en contact avec le cuivre. En expérimentant de manière à faire naître des différences de température entre ces liquides, il s'est convaincu que la chaleur n'était pas la seule cause qui produisait les effets; il a reconnu que le courant qui reste après la cessation de l'action la plus forte, circulait dans une direction opposée au courant primitif, qui par là se trouvait annulé.

En enlevant quelques-uns des fils qui établissaient la communication entre les cellules, il restait encore une action dans l'aiguille et dans l'électromètre, laquelle ne s'arrêtait qu'après que l'on avait enlevé les 4 fils; preuve

de l'existence d'un courant dans le circuit, différent du circuit principal de la batterie.

1477. Pour expliquer l'interruption du courant, M. Daniell a fait l'expérience suivante : la figure 75 représente la section de la pile. *a b c d* est le vase de vapeur, et les 9 cellules avec leur fil de communication sont représentées par les 9 petits cercles. Dans les expériences dont il va être question, les électrodes *e* et *f* n'étaient pas réunis. Chaque cellule était éprouvée par le galvanomètre de la manière indiquée en *g*. Les cellules de 1 à 9 faisaient dévier l'aiguille de 30° à 40° E., la cellule 8 de 4° O. La communication entre les cellules 8 et 9 ayant été rompue, la même cellule faisait dévier l'aiguille de 35° E.

Tout le circuit fut ensuite complété par la réunion de toutes les cellules au moyen d'un fil court.

On a eu, en essayant séparément les cellules :

N° 8 ..... 55° O
7 ..... 45 E
6 ..... 35 O
5 ..... 10 E

Avec le n° 4 l'aiguille oscillait tantôt d'un côté, tantôt de l'autre avec force. Les autres cellules ont donné,

N° 3 ..... 10° O
2 ..... 20 E

Il était intéressant de reconnaître si ces différents courants avaient encore lieu avec le zinc amalgamé, le cuivre et une dissolution de l'acide sulfurique. 5 cellules furent réunies à cet effet en séries, avec un voltaïmètre, et l'on éprouva séparément chacune d'elles, au moyen du galvanomètre. On a obtenu les résultats suivants :

TEMPS.	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE voltaïque.	MOYENNE de 5 min.	GALVANOMÈTRE.
h. m.				
1 56				
61	5	1 1/4	1 3/4	Cell. 1 45° E.
2 6	10	3	1 1/4	Cell. 2 45° E.
11	15	4	1	Cell. 3 40° E.
16	20	4 3/4	0 3/4	Cell. 4 40° E.
21	25	5 1/2	0 3/4	Cell. 5 40° E.

Le voltaïmètre ayant été enlevé, le circuit fut fermé avec un fil court, puis les cellules examinées séparément donnèrent :

Cell. 1 ..... 25° E
Cell. 2 ..... 20 O
Cell. 3 ..... 20 O
Cell. 4 ..... 25 O
Cell. 5 ..... 25 E

Lorsque ces 5 cellules étaient réunies ensemble, la déviation était de 30 degrés O; mais le courant ne produisait pas de décomposition dans le voltaïmètre faisant partie du circuit.

En opérant avec la batterie chargée avec du sulfate de cuivre, on eut :

TEMPS.	INTERVALLE.	ÉLECTROMÈTRE. voltaïque	MOYENNE de 5 minutes.	GALVANOMÈTRE.
h. m. 37.				
3 12	5	5	5	Cell. 1 42° 1/2 E.
3 17.	10	10	5	Cell. 2 45° E.
3 22	15	15	5	Cell. 3 45° E.
3 27.	20	19 1/2	5 1/2	Cell. 4 47° 1/2 E.
3 32.	25	24 1/4	4 3/4	Cell. 5 47° 1/2 E.

Le circuit complété par un fil court donna

Cell. 1 ..... 25° O
Cell. 2 ..... 30 O
Cell. 3 ..... 30 O
Cell. 4 ..... 30 E
Cell. 5 ..... 30 E

On voit que l'action du sulfate de cuivre a augmenté le pouvoir décomposant du courant, dans le rapport de 1,1 pouc. cub. à 5 pouc. cub., et la force du courant secondaire mesurée par la déviation du galvanomètre, de 40 à 47 degrés.

On voit encore que lorsque le courant principal traversait le long fil d'un galvanomètre, ou le liquide d'un électromètre, la direction du courant secondaire de chaque cellule séparée était toujours normale, ou dans la même direction; mais que lorsqu'on laissait le courant de la batterie circuler avec le moins de résistance possible, en complétant également le principal circuit avec un fil court, le courant secondaire des cellules séparées se trouvait dans une direction opposée. On conçoit, d'après cela, que la résistance puisse être combinée de manière à ce que le courant secondaire disparaisse ou varie entre les deux directions.

Je ne pousserai pas plus loin l'exposé des observations faites par M. Daniell pour étudier les effets de la chaleur sur la pile; mon but ayant été seulement d'indiquer les principaux faits qu'il a obtenus, afin de mettre à même le lecteur de les étudier.

Il est bien certain que, d'après le procédé employé par M. Daniell pour élever la température de sa pile à courant constant, toutes les parties dont se compose cette pile n'ont pas dû être échauffées également, non-seulement les parties liquides, mais encore les parties métalliques. Or, on sait que lorsque deux liquides n'ayant pas la même température sont en contact, celui qui possède la température la moins élevée prend l'une ou l'autre des deux électricités, suivant la nature des liquides. D'un autre côté, lorsque deux métaux en communication métallique, étant inégalement chauffés, plongent dans un même liquide, les parties de ce liquide contiguës aux métaux sont inégalement échauffées, et il en résulte encore des courants électriques semblables aux précédents. Dès lors on doit obtenir dans la pile des courants secondaires qui cheminent dans le même sens que le courant principal, ou dans une direction opposée, suivant les cas que je viens d'indiquer. En outre, l'inégalité de température dans les lames doit modifier l'action chimique du liquide sur l'une des deux lames ou sur les deux. On conçoit bien qu'il est

utile d'étudier dans chaque élément la direction de ce courant secondaire dont la cause est parfaitement connue.

M. Delarive, au surplus, a présenté des considérations touchant l'influence qu'exerce la chaleur sur la faculté que le courant électrique possède à passer d'un liquide dans un autre, qui servent à jeter quelque jour sur la question.

Cet habile et ingénieux physicien (1) a commencé d'abord par rappeler que la chaleur diminue la conductibilité électrique des métaux, tandis qu'elle augmente celle des liquides. Cela posé, il a cherché quelle devait être l'influence de l'élévation de température sur le passage d'un courant électrique, d'un courant métallique dans un conducteur liquide composé. On sait que dans une telle circonstance il y a toujours perte d'électricité au passage d'un corps dans un autre. Il s'agissait de voir si, dans les mêmes circonstances, cette perte augmentait ou diminuait en chauffant les deux corps dans leur point de contact. Voici de quelle manière M. Delarive a fait cette détermination : il a plongé par l'une de leurs extrémités dans un vase plein d'eau acidulée, deux lames de platine d'une certaine épaisseur, et dont une partie assez considérable de chacune d'elles se trouvait en dehors du liquide. Ces lames plongeaient verticalement aussi près que possible de la paroi du vase; elles étaient en outre recourbées horizontalement à l'endroit où elles sortaient du liquide. Une forte lampe à alcool était placée sous chacune des lames, de manière à réchauffer et même rougir vivement leur partie horizontale. Par ce moyen la partie verticale se trouvait à une température plus ou moins élevée. On pouvait même, par ce moyen, faire bouillir la partie du liquide en contact avec les lames.

Avant de commencer l'expérience, les lames furent

---

(1) Biblib. univ. de Genève, Tom. VII.

mises en communication avec les pôles d'une pile de quatre éléments, de 16 pouces carrés de surface, faiblement chargée. Un multiplicateur introduit dans le circuit indiquait douze degrés pour l'intensité du courant. Dès l'instant que les lames furent chauffées, le courant augmenta successivement en intensité jusqu'à 30 degrés. La lampe placée au-dessous de la lame positive ayant été éteinte, le courant maintint toujours l'aiguille à trente degrés, bien que la lame en se refroidissant peu à peu revînt à la température ordinaire. Mais si on éteignait la lampe située sous la lame négative, le courant, à mesure que la lame se refroidissait, revenait à douze degrés. La lampe placée sous la lame positive ayant été seule rallumée, la déviation resta toujours à douze degrés, tandis qu'en rallumant l'autre lampe, elle augmenta successivement jusqu'à trente degrés.

La solution sur laquelle opérait M. Delarive était une forte solution d'acide sulfurique; mais les résultats furent les mêmes en employant de l'acide sulfurique très-étendu d'eau : seulement, comme cette dernière solution était plus conductrice que la première, la déviation de l'aiguille aimantée dans les divers cas était plus considérable.

On pourrait croire que, dans cette expérience, la partie des lames de platine située en dehors du liquide, étant fortement échauffée, il devrait en résulter une diminution d'intensité dans le courant, par l'effet d'une diminution dans la faculté conductrice de ces lames; mais cet effet ne pouvait être apprécié ici, attendu que les lames étaient très-légères, et que lors même qu'elles auraient été échauffées au rouge, elles auraient encore conduit mieux le courant que le liquide à travers lequel il passait. D'après cela, chaudes ou froides, on doit les considérer comme des conducteurs parfaits. Le liquide seul, soit dans les points de contact avec les lames, soit dans sa masse, doit donc exercer une influence sur le

passage de l'électricité, quand on fait varier la température. Les autres métaux, en particulier le cuivre, ont donné les mêmes résultats. Mais il faut éviter d'employer des métaux oxidables qui, donnant naissance à des effets électro-chimiques, compliqueraient les effets qu'on a en vue d'étudier.

M. Delarive recommande de ne se servir, pour faire les expériences précédentes, que d'un faible courant voltaïque, si l'on veut avoir des effets bien marqués. On conçoit cette précaution; car on sait que plus un courant est faible, plus il est facilement influencé par de légères altérations dans les conducteurs qui le traversent.

La différence que l'on vient de trouver entre le pôle positif et le pôle négatif, sous le rapport de l'influence qu'y exerce la chaleur, sur leur facilité à transmettre le courant dans un liquide, semble lier, jusqu'à un certain point, l'action de la chaleur avec la direction du courant. Nous pouvons déjà tirer la conséquence des faits observés, que l'élévation de température est sans influence sur le passage du courant d'un métal dans un liquide, tandis qu'elle facilite beaucoup son passage d'un liquide dans un métal. Je rappellerai que nous avons adopté depuis longtemps que le sens du courant est la direction du pôle positif au pôle négatif.

Les faits que je viens de rapporter se rattachent aux propriétés différentes que possède le courant électrique agissant comme force chimique ou comme force physique, suivant sa direction, et dont il a été question dans cet ouvrage. On a déjà observé, en effet, que le courant chasse du pôle positif au pôle négatif l'eau elle-même, quand il la traverse, ainsi que les corps légers qui peuvent s'y trouver. On a vu aussi que les mouvements et la forme qu'affectent des bulles de mercure placées dans de l'eau traversée par un courant, étaient liés avec la direction de ce courant. Enfin, il existe des conducteurs unipolaires qui peuvent décharger l'électricité émanée de l'un des pôles, et non celle qui est émanée de l'autre;

nous verrons cependant plus loin que la propriété des corps unipolaires peut avoir une autre origine. Je rappelle tous ces faits au lecteur, parce que l'on ne saurait trop multiplier les expériences pour connaître les différences que présente chacune des électricités, quand elles agissent comme force chimique ou comme force physique. Le tableau des différences pourra seul nous aider à jeter quelque jour sur la nature de chacune des deux électricités.

CHAPITRE IV.

DE LA PROPAGATION DES COURANTS ÉLECTRIQUES DANS LES LIQUIDES.

1478. Nous sommes naturellement conduits à nous occuper de la propagation des courants électriques dans les liquides, et des causes qui la modifient. Cette question a déjà été l'objet des recherches de tous les physiciens de cette époque qui s'occupent d'électricité, et néanmoins elle est bien loin d'être résolue. M. Matteucci s'est livré pendant plusieurs années à une suite de recherches à ce sujet pour tâcher d'ajouter à nos connaissances, et ses efforts n'ont pas été vains, comme on va le voir.

On sait que lorsqu'un courant voltaïque est transmis dans un arc conducteur, en partie métallique et en partie liquide, on peut modifier son intensité, en apportant des changements dans l'appareil producteur, ou bien dans la nature des électrodes et du liquide. Si l'on considère seulement les électrodes et le liquide, il faut avoir égard à leur nature, à la composition chimique du liquide, à sa température, à son volume considéré dans ses trois dimensions, et à l'étendue des électrodes. M. Matteucci s'est appliqué principalement à étudier l'influence à la fois séparée et réunie de ces divers éléments sur l'intensité du courant, en modifiant en même temps la force du courant, puis l'influence des diaphragmes métalliques et liquides placés sur la route du courant, sur son intensité, ainsi que les modifications

qu'éprouve celle-ci, suivant sa direction. Il a employé, pour faire ces recherches, divers moyens d'expérience que je vais décrire : 1° Une pile à force constante d'après les principes que j'ai exposés précédemment (1445, etc.) Cette pile est représentée fig. 76; les cases *ccc*, *c' c'c*, renferment une solution de sulfate de cuivre avec des cristaux de sulfate neutre, comme le fait M. Daniell; *c c c*, *c' c' c'* sont des lames de cuivre placées de chaque côté des lames de zinc *z z z*, et séparées de ces dernières par des membranes appliquées sur les parois des petites caisses, comme dans mes appareils; *o o o* sont des tubes de verre qui laissent écouler goutte à goutte une solution nitro-sulfurique dans les cases moyennes où se trouvent les lames de zinc. Au fond de ces cases se trouve un autre tube semblable pour donner écoulement au liquide. Il aurait été préférable de disposer un déversoir pour avoir un niveau constant.

1479. M. Matteucci a pris, pour faire ses expériences diverses précautions que je vais décrire avec cette pile à force constante. Pour se mettre à l'abri des polarités secondaires, il laisse s'écouler entre chaque passage de courant un certain intervalle de temps, variable avec la force de la pile et du liquide parcouru, ou bien il fait passer le même courant en sens contraire. Le premier fait qu'il a étudié est celui relatif à la décomposition électro-chimique produite par un courant forcé de passer dans un liquide par des lames décomposantes étroites, tandis que ce même courant ne produit pas cette décomposition, s'il passe par des lames plus larges. On prend, à cet effet, deux couples de la pile à force constante, et deux capsules remplies d'une solution d'iodure de potassium dans 25 ou 50 p. d'eau distillée, à laquelle on ajoute quelques gouttes d'eau amidonnée. Dans une capsule, les électrodes ont 5 centimètres carrés de surface, dans l'autre 3 millimètres de largeur, sur une longueur de 8 ou 10; on fait passer dans chaque capsule une portion du courant de la pile à deux éléments. Après quelques secondes, une couleur bleu foncé annonce la

décomposition sur les électrodes étroits, tandis que, même une heure après, aucune apparence ne se montre sur les larges électrodes. Il est à remarquer que pendant le passage du courant dans les liquides par les lames larges, la déviation de l'aiguille aimantée sur le multiplicateur est peu forte. D'autres liquides ont donné le même résultat; seulement, en employant un liquide plus difficile à décomposer, il fallait employer un plus grand nombre de couples.

Relativement à la quantité nécessaire de zinc dissoute pour produire un certain courant, on a trouvé que lorsque ce courant doit parcourir un liquide, cette quantité varie avec l'intensité de l'action électro-chimique. C'est pour ce motif que lorsque le courant d'une pile, ou un seul de ses éléments, traverse un arc métallique, la quantité de zinc qui est dissoute est égale, soit à chacune des quantités provenant des éléments réunis en pile, soit à la quantité d'éléments pris isolément. Mais si le courant provenant de plusieurs couples passe à travers un liquide, la décomposition a lieu, et l'on trouve alors que la quantité de zinc dissoute est plus grande pour chacun des élements réunis en pile, que pour un seul des éléments pris séparément. En étudiant l'influence de la nature du liquide sur l'intensité du courant qui le traverse, M. Matteucci a reconnu que pour tous les sels qui peuvent subir la fusion aqueuse, la conductibilité de ces sels, à l'état de fusion, est la même que celle des solutions saturées à + 20° R. dans l'eau distillée. Ce fait a été établi avec l'acétate de plomb, l'alun, le sulfate de zinc, le chlorure de calcium. La conductibilité des sels, à l'état de fusion, est en général plus grande que celle de leurs solutions saturées dans l'eau. Cela démontre aussi que pour un courant donné, la conductibilité n'augmente pas proportionnellement à la quantité de sel ou d'autres substances ajoutées à l'eau. La quantité de sel qui produit le maximum de conductibilité, est d'autant moindre que la substance qui, à poids égal, est ajoutée à l'eau, communique une plus grande conductibilité.

1480. Lorsqu'on dissout dans l'eau plusieurs sels, sans qu'il y ait décomposition entre eux, on trouve que la conductibilité de cette eau est égale à la somme des différentes conductibilités qui seraient communiquées à la même quantité d'eau par ces différents sels pris séparément.

Le principe se vérifie d'autant moins qu'on opère sur des solutions qui sont loin de leur maximum de conductibilité ; ainsi une solution de $\frac{1}{100}$ de sel ammoniac dans l'eau distillée donne 12° ; une solution essayée séparément de $\frac{1}{100}$ de nitrate de potasse donne 8° ; et une solution de $\frac{1}{100}$ de sel ammoniac et $\frac{1}{100}$ de nitrate de potasse donne 20°. Lorsqu'on a des solutions qui ont acquis le maximum de conductibilité avec un certain sel, l'augmentation de conductibilité par un autre sel ajouté, est bien moindre qu'elle ne serait, si la solution primitive était loin de ce maximum. Cela explique comment il arrive qu'en cherchant la conductibilité du mélange des sels fondus, on la trouve égale à celle du sel doué de la plus grande conductibilité. C'est ainsi que dans le nitre fondu, la conductibilité ne varie pas en ajoutant de l'alun, du sulfate de zinc, de l'acétate de plomb fondu. Dans ce cas, la conductibilité du nitre fondu est à son maximum pour ce sel, et supérieure à celle des autres sels fondus et ajoutés.

1481. En étudiant l'influence de la longueur de la couche liquide sur l'intensité du courant qui doit la traverser, M. Matteucci a trouvé, ce qu'on savait déjà, que le courant diminue d'intensité avec l'accroissement en longueur de cette couche ; mais il a reconnu en outre que cette augmentation n'est pas proportionnelle à la diminution de la longueur de la couche ; car elle est d'autant plus rapide que la diminution s'accroît davantage : il suffit de jeter les yeux sur le tableau suivant pour s'en convaincre :

Longueur de la couche.	Électrodes étroits. — Intensité.	Électrodes larges. — Intensité.
m.		
2	1	1
1	1	1
0 50	2	2
0 15	6	10
0 05	10	32
0 025	21	(46°)?
0 012	36	(72°)?
0 006	75	(90°)?

On voit aussi dans ce tableau que l'augmentation est d'autant plus rapide que le courant est rendu plus intense en donnant plus de surface aux électrodes.

1482. Si l'on fait varier de plusieurs manières en largeur ou en hauteur une même masse de liquide d'une longueur donnée, l'expérience montre que le volume doué de la plus grande conductibilité est celui dans lequel les différentes parties du courant ont le moins de route à faire pour passer d'un électrode à l'autre. Ce fait explique pourquoi on gagne en conductibilité, lorsqu'on rétrécit, et qu'on augmente en hauteur en même temps une certaine masse de liquide donnée en longueur, prise d'abord plus large que haute. — Bien entendu que ces résultats ne s'obtiennent que lorsque la surface des électrodes est bien moindre que la section de la couche liquide. Dans ces cas, on gagne toujours en conductibilité en augmentant le volume; mais on gagne d'autant plus que les nouveaux filets liquides ajoutés sont disposés relativement à la ligne la plus courte qui réunit les deux électrodes, de manière à faire parcourir aux courants dérivés la plus petite route possible. Ce même principe explique aussi pourquoi la conductibilité n'est pas égale avec des électrodes constants, suivant qu'ils plongent ou dans les couches du fond, ou dans les couches supérieures, ou dans les couches moyennes. Le maximum de conductibilité se trouve dans ces deux dernières.

Relativement à l'influence des différents métaux employés, soit comme diaphragmes, soit comme électrodes, on trouve ce fait déjà observé par M. Delarive, savoir, que les différents métaux résistent d'autant moins au passage du courant, qu'ils sont plus attaqués par les liquides conducteurs.

1483. En cherchant l'influence de la chaleur sur l'augmentation de la conductibilité dans les liquides, on trouve, outre les faits déjà connus, que cette influence persiste d'autant moins que ces liquides sont plus conducteurs, et qu'une solution chauffée conserve, en se refroidissant, une conductibilité supérieure à celle qu'elle avait acquise en s'échauffant à une température donnée. Cette persistance est d'autant plus grande que la durée de l'échauffement a été plus longue, et les échauffements et les refroidissements plusieurs fois répétés. Voici un tableau qui démontre ce fait remarquable pour de l'eau qui contient une petite quantité des acides nitrique et sulfurique :

DEGRÉ du thermomètre.	CONDUCTIBILITÉ de la solution en s'échauffant.	CONDUCTIBILITÉ de la même solution en se refroidissant.
0° R.	22°	24°
+ 15	34	35
+ 22	36	38
+ 38	40	44
+ 50	44	45

1484. Voyons maintenant les effets produits quand on modifie en même temps le nombre des couples, le liquide de la pile, l'étendue de ces couples, et la conductibilité du liquide traversé par le courant, la surface des électrodes et le volume du liquide. La question, comme on le voit, est très-complexe. En cherchant à la résoudre, M. Matteucci a été conduit aux mêmes conclusions auxquelles M. Delarive était parvenu, en partant du

principe de la recomposition des deux fluides dans l'intérieur de la pile. En effet, voici ces conclusions : 1° Lorsque la pile est douée d'une faible force de production et de propagation (c'est-à-dire lorsqu'elle est chargée avec un liquide très-peu conducteur, et que les surfaces de ses couples sont étroites), on parvient, en augmentant le nombre des couples, à une *limite* qui produit le maximum d'intensité, et cette limite arrive d'autant plus tôt, que le liquide traversé est meilleur conducteur, que son volume est plus grand, la longueur de la couche moindre, et que la surface des électrodes est plus large. 2° Le nombre limite des couples, qui donne l'intensité maximum, est d'autant plus grand, que la force de production et de propagation est plus grande dans la pile, et cela proportionnellement à la conductibilité, au volume, à la moindre longueur de la couche liquide à parcourir, et à la surface des électrodes.

1485. Parlons maintenant des pertes qu'éprouvent les courants qui traversent les diaphragmes métalliques. M. Delarive a établi que ces pertes diminuent proportionnellement à l'intensité du courant initial, cela n'est vrai qu'autant que l'intensité de courant augmente par un plus grand nombre de couples. Si, au contraire, cette augmentation se fait ou par un liquide meilleur conducteur mis dans la pile, ou dans l'électromètre, ou par des électrodes plus larges, ou par une couche liquide moins longue à parcourir, dans ces différents cas, les pertes produites par les diaphragmes croissent avec l'intensité initiale du courant. Les résultats suivants mettent en évidence toutes ces lois ; ils ont été obtenus avec une pile chargée avec de l'eau distillée :

TABLEAU I.

NOMBRE de couples.	NOMBRE DE LAMES OU DIAPHRAGMES.			
	0	1	2	3
80	... (41)°? ...	... (41)°? ...	.... 55 int. ..	.... 45 int.
40	..... 31 50 int.	.... 31 int. ..	.... 25	 22
20	..... 14	.... 12 50 ...	.... 11	 9
10	..... 7	.... 6	.... 5	 4

Dans le IIe tableau, la pile était chargée avec de l'eau acidulée.

TABLEAU II.

NOMBRE DE COUPLES.	NOMBRE DE LAMES OU DIAPHRAGMES.	
	0	1
2	3 int.	4
4	63	33
8	(86°)?	(72°)?

Ces résultats montrent bien que, lorsqu'il y a plusieurs diaphragmes, les pertes produites par chacun d'eux sont loin de diminuer proportionnellement à leur nombre. Cet effet n'a lieu, comme l'a dit M. Delarive, que lorsque l'intensité du courant augmente avec le nombre des couples. On peut résumer ainsi l'effet des diaphragmes : Le nombre des couples *limite*, auquel s'arrête la perte produite par les diaphragmes, varie proportionnellement, non-seulement à la conductibilité du liquide interposé entre les couples de la pile, mais encore aux différents éléments qui constituent la conductibilité du canal, tels que la nature du liquide, son volume et l'étendue des électrodes. M. Matteucci a confirmé ces résultats en prenant pour diaphragmes des couches d'un liquide plus conducteur, placées au milieu du canal avec des membranes, comme on le voit dans le tableau suivant :

| + Liquide mauvais conducteur.	Liquide bon conducteur.	Liquide mauvais — | conducteur.

Je dois faire remarquer qu'une perte à peine sensible est produite par les membranes, quand on les tient plongées pendant un certain temps dans les liquides. Elles s'opposent aussi pendant quelque temps à leur mélange.

Voici quelques résultats obtenus dans le liquide mauvais conducteur :

LONGUEUR de la couche liquide.	INTENSITÉ du courant.	DANS LA COUCHE DE LIQUIDE bon conducteur.	
		LONGUEUR.	INTENSITÉ.
m. 0 2	..... (50°)?	m. 0 2	..... (66°)?
0 4	..... 52 int.		
0 6	..... 32		
0 8	..... 23		

Le canal intermédiaire est disposé de manière que le liquide bon conducteur, qui a $0^m,2$ de longueur, se trouve au milieu, tandis que les liquides mauvais conducteurs sont placés de chaque côté, et peuvent être plus ou moins longs, en éloignant l'un de l'autre les deux électrodes.

Mauvais conducteur.	Bon conducteur.	Intensité.
m. 0 2 + ...	..... m. 0 2	 48
0 4 + ...	..... 0 2	..... 34 50
0 6 + ...	..... 0 2	 23
0 8 + ...	..... 0 2	 20

Nous voyons là que le passage du courant à travers le liquide bon conducteur donne 66°; que la conductibilité des couches latérales est réduite, pour la couche longue de $0^m,2$, de 50° à 48°; pour la seconde couche, longue de $0^m,4$, de 52 intensité à 34,5; pour la troisième, de 32 à 23; pour la quatrième, de 23 à 20. Il faut observer que la couche du liquide bon conducteur, quand même elle aurait sa longueur entière, aurait toujours une conductibilité bien plus grande. On voit encore que ces pertes croissent aussi proportionnellement à l'intensité initiale du courant, excepté dans le cas où cette

intensité n'augmente pas par un plus grand nombre de couples. Le remplacement des diaphragmes métalliques par des couches liquides plus conductrices a bien de l'importance, parce qu'il établit qu'une des causes de la perte produite par les diaphragmes, est le changement de conducteur, et non les polarités secondaires qui se développent; car comment admettre, dit M. Matteucci, que ces polarités se développent dans les liquides? Cependant d'anciennes expériences de M. Vanbeck tendent à prouver que les liquides peuvent également se polariser.

Il ne me reste plus maintenant à exposer que les résultats auxquels M. Matteucci est parvenu, en étudiant les modifications qu'éprouve la propagation du courant, quand on opère des changements dans les conducteurs, soit au pôle positif, soit au pôle négatif. On connaît déjà les expériences qui ont été faites à ce sujet par Porret, par moi, par M. Marianini et par M. Delarive. M. Matteucci a fait, à cet effet, usage d'un appareil (fig. 77) qui se compose d'un galvanomètre G à fil double, d'une pile P de 20 à 30 couples et faiblement chargée, et de deux boîtes égales en bois, AB, CD, séparées au milieu par une membrane. En suivant la direction des flèches, on voit que le courant de la pile passant dans les deux godets de mercure S et S′, se partage entre les deux boîtes, tandis que les deux courants traversent les deux fils du galvanomètre dans deux directions inverses. La différence de conductibilité des deux systèmes AB et CD est toujours indiquée par le galvanomètre; dans le premier cas, on rend positif l'électrode A, et négatif l'électrode D. Ces deux électrodes ont des dimensions égales; les deux autres, qui sont aussi égaux, sont l'un B négatif et l'autre C positif; mais les deux premiers plus larges que les deux autres. On trouve, en général, que le système CD est plus conducteur que le système AB, c'est-à-dire, celui qui a l'électrode positif plus étroit que l'électrode négatif. Ces différences sont d'autant plus grandes que la distance entre les électrodes est plus grande, et le liquide plus mauvais conducteur; en outre, que la diffé-

rence entre la surface des deux électrodes, pour produire la plus grande différence de propagation, doit varier avec cette distance, et en raison inverse de la conductibilité du liquide.

On observe encore d'autres différences; il faut pour cela employer des séparations en membranes dans les boîtes : A est rempli à moitié de liquide, B l'est entièrement; D est également rempli à moitié, et C entièrement. D'après cette disposition dans la boîte A B, le courant va d'une moindre masse liquide à une plus grande, tandis que dans l'autre, CD, le courant va de la plus grande masse liquide à la moindre. On trouve alors que dans la boîte A B la conductibilité est meilleure que dans la boîte C D. Si l'on met en A un liquide conducteur, et en B un moins bon conducteur, dans C le moins bon, et dans D le meilleur, on trouve CD meilleur conducteur que AB. Les liquides sont choisis de manière à ne pas exercer l'un sur l'autre d'action chimique; dans les expériences on a pris de l'eau distillée et de l'eau à peine salée. M. Matteucci a découvert encore une autre différence en opérant avec deux masses liquides assez longues et plaçant un diaphragme métallique, dans l'une près du pôle positif, et dans l'autre près du pôle négatif. On dispose l'appareil pour que le courant de la pile se distribue dans les deux masses liquides et parcoure les deux fils du galvanomètre en sens inverse : cette disposition est indiquée fig. 77.

Dans le liquide A B le diaphragme M est près du pôle positif; dans le liquide C D, le diaphragme M est près du pôle négatif. On trouve dans ce cas que A B est meilleur conducteur que C D.

On peut résumer de la manière suivante ces différences de propagation : En comparant des systèmes de conducteurs égaux avec une conductibilité inégalement distribuée, relativement aux deux lames qui transmettent le courant, on trouve une différence dans la conductibilité; le meilleur conducteur est celui dont la partie qui conduit mal est près du pôle +, et dont la partie qui conduit bien est près du pôle —.

La différence que M. Delarive a obtenue en échauffant inégalement les deux électrodes rentre dans le même principe; en effet, il est plus avantageux de chauffer l'électrode négatif que de chauffer l'électrode positif; or, l'échauffement rendant la couche liquide plus conductrice, il en résulte qu'en échauffant l'électrode négatif, le courant passe plus facilement du mauvais conducteur dans le bon.

CHAPITRE V.

DE LA FORCE CHIMIQUE DU COURANT ÉLECTRIQUE ET DE SES RAPPORTS AVEC LE MODE DE COMBINAISON DES CORPS DÉCOMPOSÉS.

§ 1er. *Considérations générales.*

1486. J'ai déjà exposé, avec de grands développements, les observations de M. Faraday relatives au rapport constant qui existe entre la quantité d'électricité dégagée et les produits de la décomposition, et aux équivalents électro-chimiques. Ces observations nous ont montré, en effet, que des quantités équivalentes des différents métaux dégagent, quand ces derniers s'oxident, une quantité égale d'électricité qui est douée du même pouvoir chimique. J'ajouterai que M. Faraday a admis que la faculté que possède le courant de décomposer une combinaison, ne dépend pas de la quantité d'électricité dégagée, mais de l'intensité de cette électricité. C'est en raison de cette manière de voir qu'il a rangé en séries des combinaisons, d'après l'intensité plus ou moins grande que devait avoir le courant pour les décomposer. Il a observé encore que lorsqu'on ne peut décomposer certaines combinaisons, on y parvient en ajoutant à la solution une seule goutte d'acide, toutes choses égales d'ailleurs. Il ne suffit donc pas, d'après cette manière de voir, d'augmenter la quantité d'électricité dégagée, pour que le courant devienne capable d'opérer

une certaine décomposition chimique, mais il faut encore que cette électricité soit produite par une action chimique d'une certaine intensité.

1487. M. Matteucci est parvenu à une conclusion un peu différente, comme nous le verrons dans un instant. Il a commencé d'abord par démontrer qu'en employant une pile composée d'un certain nombre d'éléments, le courant acquiert toujours une force électro-chimique d'autant plus grande que la quantité d'électricité dégagée et mise en circulation est plus considérable, et qu'il arrive qu'une augmentation de surface du métal dissous n'a pas toujours pour effet la circulation d'une plus grande quantité d'électricité; tandis que cette circulation peut devenir plus considérable par un changement dans le liquide qui provoque le courant, sans que pour cela la quantité totale d'électricité dégagée se soit accrue.

L'appareil dont cet ingénieux physicien a fait usage consiste en un flacon de la contenance de 125 à 150 grammes d'eau, muni d'un bouchon de liége recouvert de vernis. Une lame de zinc distillé ou de zinc amalgamé, de 3 centimètres sur 4, et une autre de platine de mêmes dimensions sont soudées à deux fils de cuivre traversant le bouchon. Ces deux fils, qui sortent du flacon, sont scellés dans le bouchon et recouverts de vernis jusqu'à la soudure. Au centre du bouchon se trouve un tube de verre de trois millimètres de diamètre, recourbé en U, et dont l'une des branches communique avec l'intérieur, et l'autre avec l'extérieur.

Au moyen de cette disposition, quand il se dégage du gaz dans l'intérieur, ce gaz déplace une portion du liquide, qui, étant recueillie et mesurée, indique la quantité de gaz dégagée. Plusieurs flacons analogues ont été préparés ainsi. Le liquide employé pour charger les appareils voltaïques est de l'eau acidulée par l'acide sulfurique ayant une densité de 1,5 ou 2.

Il est reconnu que, dans une pile, la quantité d'électricité dégagée et qui circule dans chaque couple augmente ordinairement avec le nombre des couples. Cette quan-

tité d'électricité donne des produits que l'on considère comme égaux (quoiqu'ils ne le soient pas toujours, comme le prouvent les expériences de M. Daniell), et sur la lame de platine des couples et sur les électrodes qui se trouvent dans le liquide soumis à l'action. Si l'on apporte un changement dans la distance entre les électrodes, dans leur étendue, la nature du liquide, il y a aussitôt un changement correspondant dans la quantité d'électricité dégagée et qui circule entre chaque couple; ce changement est indiqué par la quantité d'hydrogène dégagée sur la lame de platine de la pile; mais on obtient toujours la même quantité d'hydrogène sur la lame de platine des couples et sur celle qui forme l'électrode négatif.

1488. M. Matteucci explique de la même manière que M. Delarive pourquoi la quantité d'électricité dégagée et qui circule dans chacun des couples augmente avec leur nombre; mais je ne m'y arrêterai pas, attendu qu'il a été souvent question de cette explication dans cet ouvrage.

Mais il a observé un fait important, dont j'ai parlé précédemment: c'est que l'on peut augmenter la force chimique du courant en diminuant la surface des lames qui transmettent le courant dans le liquide. Ce fait est absolument semblable à celui qui a été découvert par Wollaston pour l'intensité ordinaire, et dont cet ingénieux physicien a fait usage pour décomposer l'eau.

En rétrécissant ainsi la surface des lames décomposantes, on diminue bien la quantité totale d'électricité qui circule; mais alors on augmente son intensité. Wollaston disait que l'électricité, en entrant par des pointes très-fines dans le liquide, avait une tension plus considérable, et avait alors plus d'aptitude pour décomposer l'eau.

1489. Considérons maintenant le fait cité par M. Faraday, du couple zinc et platine qui décompose un électrolyte, quand on ajoute à la solution d'acide sulfurique quelques gouttes d'acide nitrique, tandis qu'on n'obtient rien en augmentant la quantité d'acide sulfurique ou l'étendue de la lame de zinc.

Voici comment M. Matteucci a répété l'expérience : il a fait passer le courant d'un de ses couples élémentaires dans une solution d'iodure de potassium, tantôt avec des fils de platine, tantôt avec des lames de plusieurs centimètres carrés ; la décomposition était toujours beaucoup plus abondante sur les fils que sur les lames. Il n'a obtenu aucun effet en opérant sur une solution mêlée, très-concentrée, de nitrate d'argent ou de nitrate de cuivre ; dans les deux cas, une addition d'acide sulfurique au liquide du couple ne changeait rien à cet état de chose, tandis qu'en y ajoutant quelques gouttes d'acide nitrique, la décomposition du nitrate avait lieu aussitôt.

1490. En faisant usage de piles élémentaires à grandes surfaces, d'un mètre carré de superficie, par exemple, la solution du nitrate d'argent a été décomposée, soit avec les lames, soit avec les fils. Ce fait nous prouve que l'augmentation dans l'étendue des surfaces de la pile donne au courant une intensité de force décomposante plus considérable. On comprend maintenant comment il se fait, dit M. Matteucci, que dans l'expérience de M. Faraday, une augmentation de surface qui est peu considérable ne donne pas au courant une force électro-chimique suffisante pour opérer une décomposition ; cette force, en effet, pourrait dépendre uniquement de la quantité d'électricité qui est mise en circulation, laquelle est liée intimement avec l'étendue de la lame négative, avec la nature plus ou moins attaquable du liquide, et avec la conductibilité et la décomposition électro-chimique plus ou moins facile de ce liquide ; si donc on n'augmente que jusqu'à certain point la surface du métal attaqué dans une pile, qui ne se décharge pas à travers un conducteur métallique, on ne fait que développer une plus grande quantité d'électricité qui se recompose sur la surface du métal même, sans augmenter sensiblement la portion de celle qui circule.

Quant à l'action de l'acide nitrique, je ferai d'abord remarquer que l'on n'obtient jamais de décomposition en

employant seulement dans un des couples une solution d'acide nitrique sans acide sulfurique. Une seule goutte d'acide sulfurique suffit pour produire la décomposition; comme aussi quelques gouttes d'acide nitrique dans une solution d'acide sulfurique déterminent la décomposition. Si l'on compare les résultats obtenus avec différentes solutions d'acide sulfurique plus ou moins concentrées, et des solutions nitro-sulfuriques, on trouve, en faisant passer le courant à travers un arc métallique, de grandes différences dans la quantité d'électricité mise en circulation; l'expérience montre que l'action de l'acide nitrique se réduit à laisser circuler une plus grande portion d'électricité dégagée, et cela par la perte moins grande qu'il fait subir au courant électrique dans son passage du liquide au platine, et surtout en rendant le liquide plus décomposable par le courant électrique, et par cela même meilleur conducteur.

§ II. *De la décomposition voltaïque opérée simultanément sur deux combinaisons mêlées ensemble.*

1491. On sait que lorsqu'on soumet à l'action de la pile une solution d'un composé quelconque, il se dépose ordinairement, sur les électrodes, les éléments des substances tenues en solution, lesquels peuvent réagir les uns sur les autres, ou sur les électrodes. Quand il n'y a aucune réaction, les éléments déposés, qui sont simples ou composés, sont appelés primitifs; dans le second cas, les composés formés sont appelés produits secondaires. Tous ces produits ont été trop souvent examinés dans le cours de cet ouvrage pour qu'il soit nécessaire d'y revenir. Rappelons aussi que lorsqu'on fait passer un courant dans de l'acide chlorhydrique ou des solutions de chlorure, en même temps que dans l'eau, on obtient, dans les premiers liquides, de l'hydrogène au pôle négatif, et, au pôle positif, un mélange de chlore et d'oxigène, dont les quantités varient suivant la proportion dans laquelle l'acide chlorhydrique est mêlé à l'eau. Ces

résultats portent à admettre que l'acide et les chlorures sont décomposés directement, en même temps que l'eau.

M. Matteucci, pour étudier la manière dont s'opère cette décomposition, a fait usage de l'appareil voltaïque décrit dans le cinquième volume de cet ouvrage, p. 300. Le courant était transmis par des lames de platine, ayant 2 centimètres de long sur 6 millimètres de large; l'appareil pour recueillir les gaz était un voltaïmètre rempli d'eau acidulée par de l'acide sulfurique, d'une densité de 1,336. L'autre liquide était placé dans une capsule, au fond de laquelle étaient fixées avec de la cire à cacheter, deux lames de platine, disposées parallèlement l'une à l'autre, et placées perpendiculairement au fond de la capsule. La capsule ayant été remplie de liquide, on renversa sur les deux lames deux tubes gradués, remplis du même liquide. En soumettant à l'expérience des mélanges d'eau et d'acide hydro-chlorique, des solutions de chlorure, d'iodure, etc., on a obtenu les résultats suivants : 1° lorsque le liquide électrolytique était composé, en grande partie, d'acide hydrochlorique, hydriodique, de chlorure et d'iodure, et d'une très-petite quantité d'eau, on n'obtenait que du chlore ou de l'iode au pôle positif; l'hydrogène, dégagé au pôle négatif, donnait une quantité d'acide hydrochlorique, hydriodique, de chlorure et d'iodure décomposés, équivalente précisément à la quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre. 2° En augmentant la proportion d'eau, relativement à celle des combinaisons de chlore et d'iode, ou en faisant usage d'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique, au lieu d'eau pure, on obtenait de suite au pôle positif, avec l'iode ou le chlore, une quantité d'oxigène, qui était d'autant plus grande que la proportion d'eau était plus forte. 3° En augmentant la force de la pile, la proportion de l'oxigène devenait proportionnellement plus considérable. 4° La quantité d'hydrogène obtenue au pôle négatif, dans les solutions qui contenaient les acides hydro-chlorique, hydriodique, etc., est moindre que celle qu'on obtenait au pôle de même

nom dans l'eau du voltaïmètre, lorsque les solutions étaient saturées de combinaisons de chlore et d'iode et que la force de la pile n'était pas plus grande. Le contraire avait lieu dans les cas opposés.

1492. Si l'on prend pour point de départ ces expériences, la loi de la décomposition directe, opérée sur deux combinaisons mêlées ensemble, peut s'exprimer ainsi : l'action chimique du courant est toujours définie; les deux combinaisons sont décomposées directement par le courant; la quantité de chacune d'elles qui est décomposée, est équivalente à celle qu'on obtient en en décomposant séparément une seule par un courant de même force.

En opérant avec des combinaisons de chlore et de métaux, qui ne décomposent pas l'eau à l'état naissant comme le platine, l'or et même le cuivre, on arrive au même résultat.

Enfin, toutes les fois qu'en augmentant la force chimique de la pile, on voit augmenter la quantité décomposée d'une certaine combinaison comparativement à une autre avec laquelle elle se trouve mêlée, on doit en conclure que la première est moins décomposable que la seconde. C'est ainsi que l'iodure de potassium, les acides hydriodique et hydro-chlorique, les chlorures, l'eau acidulée par l'acide sulfurique, sont des combinaisons qui se suivent dans l'ordre de leur facilité à être décomposées.

§ III. *De la décomposition voltaïque opérée sur des combinaisons binaires du second ordre.*

1493. Les combinaisons binaires sur lesquelles M. Matteucci a opéré, sont l'acétate de plomb et les borates neutres de plomb et de zinc.

Lorsque l'on soumet à l'action de la chaleur de l'acétate neutre de plomb, ce sel se fond dans son eau, puis se solidifie; en continuant à chauffer, il se fond de nouveau, puis perd une partie de son acide et finit par se

solidifier, quand il est réduit à l'état d'acétate tribasique. En soumettant l'acétate neutre anhydre à l'action d'un courant provenant d'une pile de 60 couples, lequel courant passe en même temps dans l'eau acidulée d'un voltaïmètre, on observe les effets suivants : du gaz se dégage sur la lame positive en même temps qu'une couche brun-rougeâtre de peroxide de plomb est déposée sur cette même lame; au pôle négatif, on obtient du plomb. En recueillant les produits, on a trouvé dans une expérience : dans le voltaïmètre 6 cent. c. de gaz mêlés, qui correspondent à 3,2216 millig. d'eau décomposée, et 37 millig. de plomb au pôle négatif. Ce résultat donne 1287 pour l'équivalent du plomb, nombre qui diffère très-peu de celui qui a été adopté par les chimistes.

Si l'on fait passer le courant dans une solution aqueuse d'acétate de plomb, on obtient la même quantité de plomb pour la même quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre; il en est encore de même avec des solutions plus ou moins concentrées, il se dépose, comme dans l'acétate fondu, du gaz et une couche de peroxide de plomb. Le gaz est de l'oxigène pur et sa quantité est à peu près le $\frac{1}{10}$ du mélange gazeux du voltaïmètre. La quantité de peroxide paraît être la même dans le sel fondu que dans le sel dissous.

1494. En opérant avec le nitrate d'argent fondu, il y a un grand dégagement de gaz nitreux au pôle positif, et un dépôt d'argent au pôle négatif. Pour 6 cent cub. de mélange gazeux dans le voltaïmètre, on a 39 millig. d'argent. Ce nombre donne pour l'équivalent de ce dernier métal 1356, nombre sensiblement le même que celui qui est adopté par les chimistes. On obtient encore un résultat semblable quand on fait passer le courant dans une solution de nitrate d'argent.

Les borates neutres de plomb et de zinc se comportent de même.

On voit donc que le courant électrique exerce la même action sur une combinaison binaire, soit qu'elle se trouve à l'état de combinaison binaire du premier ordre, ou

à l'état de combinaison binaire du second ordre; c'est-à-dire qu'un oxide fondu est décomposé par le courant, comme cet oxide l'est quand il est combiné avec un acide; de sorte que l'on peut admettre que les produits obtenus dans les solutions aqueuses de ces sels ne sont pas nécessairement des produits secondaires.

§ IV. *Du rapport qui existe entre l'action du courant et le nombre relatif des équivalents chimiques qui entrent dans la combinaison décomposée.*

1495. La détermination du rapport entre l'action chimique du courant et le nombre relatif des équivalents chimiques qui entrent dans une combinaison soumise à la décomposition électro-chimique, est d'une très-grande importance, puisqu'elle peut nous donner quelques notions sur les rapports qui existent entre les affinités en vertu desquelles plusieurs combinaisons sont formées. Malheureusement la chimie ne peut nous fournir pour les expériences qu'un petit nombre de combinaisons, qui ne renferment qu'un atome d'une espèce, combiné avec 1, 2 ou 3 atomes d'une autre espèce; et encore parmi celles que l'on possède il y en a peu qui soient fusibles, anhydres et donnant des produits qui n'attaquent pas la substance des électrodes.

M. Faraday est le premier qui ait fait des recherches à ce sujet : c'est lui qui a montré que toutes les combinaisons binaires, à l'état de fusion, sont décomposées par le passage du courant, lorsqu'elles contiennent un équivalent d'un corps combiné avec l'équivalent d'un autre. Il a avancé, en outre, que lorsque ces combinaisons sont formées d'un plus grand nombre d'équivalents, d'un équivalent avec deux équivalents, la décomposition cesse d'avoir lieu. M. Matteucci, comme on va le voir, a modifié un peu cette loi.

Le protochlorure d'antimoine, soumis à l'expérience, à l'état de fusion, a fourni des quantités de gaz et d'an-

timoine métallique dans un rapport tel avec l'eau décomposée qu'il a obtenu, pour l'antimoine, un nombre qui est à peu près égal au sixième du nombre adopté par les chimistes, pour l'équivalent de ce métal; avec le bromure d'antimoine, des nombres peu différents de ceux qu'il avait eus avec le protochlorure d'antimoine, dans diverses expériences.

1496. Le protochlorure et le bichlorure de cuivre fondu n'ont pu donner des résultats numériques, attendu que les électrodes d'or ou de platine ont été attaqués, lorsque les composés ont commencé à fondre. On a observé seulement que lorsqu'ils sont fondus, ils donnent passage à un courant provenant de vingt couples, et qu'il se dégage du chlore au pôle positif; tandis que du cuivre, qui disparaît bientôt, se montre au pôle négatif. Avec des solutions aqueuses, on trouve les résultats suivants : si l'on décompose en même temps de l'eau, et de l'eau dans laquelle est dissous un chlorure, on trouve que les quantités d'eau et de chlorure décomposées, réduites aux équivalents de l'eau, donnent un nombre qui ne diffère pas de celui qui exprime la quantité d'eau décomposée. Du protochlorure de cuivre, récemment fondu, a été dissous dans de l'acide hydro-chlorique; on a ajouté à la solution une quantité, plus ou moins grande, d'alcool; l'électrode négatif, qui transmettait le courant, était recouvert d'une cloche graduée et remplie de la même solution; le courant traversait en même temps l'eau du voltaïmètre; on a eu

MÉLANGE GAZEUX dans le voltaïmètre, cent. cubes.	HYDROGÈNE, cent cubes.	QUANTITÉ DE CUIVRE au pôle négatif, en milligrammes.
Expérience 1re 15.....	..... 5 8	 17
id. 2e 27.....	..... 11 4	 37
id. 3e 32.....	..... 2 0	 5
id. 4e 06.....	..... 2	 16

Les différences que l'on remarque entre les quantités relatives d'hydrogène et de cuivre, obtenues au pôle négatif, ainsi que l'absence d'oxigène au pôle positif, prouvent que les seuls corps décomposés directement sont l'acide hydro-chlorique et le protochlorure. On en conclut donc que le protochlorure de cuivre est soumis à la loi générale. On trouve effectivement, dans ce cas, un nombre pour équivalent du cuivre, très-peu différent de 791, qui est adopté pour le cuivre.

En soumettant également à l'action électrique une solution de bichlorure de cuivre très-concentrée, on obtient une décomposition directe du chlorure, puisqu'on ne trouve aucune trace d'oxigène au pôle positif. Les résultats obtenus donnent, pour le cuivre, un nombre qui, à très-peu de différence près, est égal à la moitié du nombre équivalent du cuivre. En décomposant donc, d'une part, de l'eau et du protochlorure, et, de l'autre, de l'eau et du bichlorure, on trouve, pour une quantité d'eau donnée décomposée, une quantité de protochlorure décomposée, double de celle du bichlorure.

Les résultats obtenus conduisent aux conséquences suivantes :

1° Si un courant électrique décompose dans le même temps trois combinaisons mises séparément sur sa route, dont la première renferme deux équivalents, la deuxième un équivalent avec deux équivalents, la troisième un équivalent avec trois équivalents, on trouve que son action chimique sur chacune d'elles, mesurée par la quantité de ces trois combinaisons qui ont été décomposées, varie comme les nombres 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{6}$.

2° Si l'action chimique du courant, comme tout le démontre, est toujours proportionnelle au degré d'affinité des éléments qui sont séparés par ce courant, on doit en conclure que les degrés d'affinité qui lient les deux éléments dans ces trois composés de 1 à 1, de 1 à 2 et de 1 à 3, sont comme les nombres 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{6}$.

3° Les composés qui renferment un équivalent combiné avec 4, ne conduisent pas le courant et ne se lais-

sent pas décomposer. La diminution rapide que l'action chimique du courant éprouve à mesure qu'augmente le nombre des équivalents qui entrent dans les composés, peut faire croire que, à l'aide de courants électriques très-forts, on parviendra à décomposer ces combinaisons.

CHAPITRE VI.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ VOLTAIQUE SUR L'ESPRIT PYROLIGNEUX ET LES SOLUTIONS DANS L'EAU, D'ALCOOL ET D'ÉTHER.

1497. M. ARTHUR CONNELL, dont j'ai fait déjà connaître les travaux relatifs à l'action de la pile sur l'alcool et quelques autres liquides, a voulu démontrer aussi l'analogie parfaite qui existe entre l'action de l'électricité sur l'esprit pyroligneux et sur l'alcool, afin de confirmer l'analogie que l'on a remarquée entre ces composés. Il a donné en même temps quelques détails sur les produits secondaires formés dans les solutions aqueuses, et sur la nature des changements opérés dans des solutions alcoolique sous l'influence du courant. Toutes ces questions sont d'un tel intérêt pour l'électro-chimie organique, que je crois devoir les traiter avec des développements suffisants, afin que le lecteur ait une idée nette des résultats qui ont été obtenus.

§ Ier. *Action des courants sur l'esprit pyroligneux.*

1498. L'esprit pyroligneux, comme on le sait, a été l'objet des recherches de MM. Macaire et Marcet, du docteur Thomson, ainsi que de MM. Dumas et Péligot. Sans entrer dans l'examen des différents résultats obtenus par ces chimistes, je dirai que c'est à MM. Dumas et Péligot que l'on est redevable de notions exactes sur la nature et la constitution de ce composé. D'après l'analogie que

l'on a trouvée entre l'alcool et les éthers et d'autres composés, on pouvait s'attendre qu'elle devait également avoir lieu entre l'acide pyroligneux et l'alcool dans leurs rapports voltaïques, comme dans leur composition et leurs propriétés générales; c'est ce dont nous allons nous occuper.

L'esprit pyroligneux soumis à l'expérience avait une légère teinte jaune; sa pesanteur spécifique était de 0,851 à 16°, 67 cent. Traité avec de la chaux étendue, il ne se dégageait point d'ammoniaque, soit à chaud, soit à froid. Par une simple distillation avec de la chaux vive en poudre, il devenait entièrement incolore et transparent. Après une seconde distillation avec de la chaux vive, sa pesanteur spécifique était de 0,808 à 16°, 67 cent.

1499. Avant d'exposer les résultats de l'action d'un courant sur ce composé, je rappellerai les principaux faits qu'on a observés en faisant réagir un courant électrique sur l'alcool.

1° Sous l'influence d'un courant électrique puissant, l'alcool absolu laissé dégager de l'hydrogène au pôle négatif, et aucun gaz au pôle positif;

2° En dissolvant de petites quantités d'acide, d'alcali ou d'un sel, dans de l'alcool absolu, l'action du courant voltaïque est très-favorisée. $\frac{1}{10000}$ de potasse produit déjà un effet marqué;

3° En opérant dans des vases métalliques, il y a dégagement de gaz au pôle positif;

4° La quantité d'hydrogène obtenue au pôle négatif est la même que celle que l'on recueille avec de l'eau soumise au même courant;

5° Outre le gaz dégagé, il se forme dans le liquide plusieurs produits, qui sont les mêmes ou analogues à ceux qui résultent de l'oxidation de l'alcool, entre autres une matière résineuse, et de l'acide carbonique qui se combine avec la potasse;

6° Ces divers résultats indiquent que l'eau contenue dans l'alcool est le sujet immédiat de l'agent voltaïque;

que son hydrogène se dégage au pôle négatif, et que son oxigène donne naissance, par une action secondaire, aux produits de l'oxidation, qui se dissolvent dans le liquide ou se précipitent;

7° On voit, d'après cela, que l'alcool absolu doit nécessairement contenir de l'eau comme principe constituant.

Ces faits, et les conclusions que M. Connell en a tirées, sont également applicables à l'esprit pyroligneux, comme on va le voir. Je dirai seulement qu'il faut des courants moins puissants pour produire les mêmes effets sur ce composé que sur l'alcool : circonstance qui est due probablement à la quantité absolue d'eau plus grande, quoique dans une proportion atomique qui est la même, dans un poids donné du premier de ces liquides.

1500. On a soumis à l'action d'une pile de 72 éléments, de l'esprit pyroligneux rectifié, dans un tube, au moyen de deux lames de platine; en quelques minutes il s'est dégagé du gaz, qui a été recueilli sur le mercure. Quelque temps après, le liquide s'était échauffé. Les lames de platine ayant été placées à une distance d'environ $\frac{1}{20}$ de pouce, afin de favoriser l'action, on n'a pu savoir de quelle lame provenait le gaz; mais, d'après sa nature, on ne put douter qu'il ne vînt de la lame négative. On en a obtenu $\frac{1}{3}$ de pouce cubique. L'action de la batterie ayant diminué, le dégagement de gaz s'est très-ralenti. Ce gaz était composé d'hydrogène mélangé d'air et de quelques traces de vapeur d'esprit pyroligneux.

Une petite quantité de potasse caustique activait fortement l'action décomposante, comme pour l'alcool. Avec $\frac{1}{350}$ de potasse caustique et une pile de 36 éléments, on obtenait un pouce cubique de gaz en un quart d'heure.

Avec une pile de 50 éléments et de l'esprit contenant environ $\frac{1}{600}$ de potasse, on obtenait encore du gaz, mais seulement sur la lame négative. Quand on substituait une capsule de platine au vase de verre qui renfermait l'esprit, il se dégageait du gaz sur les deux lames comme avec l'alcool, dans les mêmes circonstances.

Lorsque l'esprit pyroligneux ne renfermait qu'une très-petite quantité de potasse, on n'a pas reconnu de traces de carbonate de potasse; mais il n'en a pas été de même en employant une forte solution d'alcali : dans ce cas, et en ne se servant que d'une pile de 36 éléments, on a eu un dégagement de gaz sur les deux lames, mais en plus grande quantité sur la lame négative que sur la lame positive. Le liquide bouillonnait en quelques minutes, et acquérait bientôt une couleur rouge. Il se déposait une grande quantité de carbonate de potasse. Le liquide rouge acquérait en même temps une forte odeur; mélangé avec de l'eau, il se troublait et acquérait une teinte jaune, due à la séparation de la matière huileuse, ou résineuse, ou de l'éther, qui s'était formée pendant l'action voltaïque. On voit donc qu'avec l'esprit pyroligneux, comme avec l'alcool, l'eau est décomposée; l'hydrogène se dégage au pôle négatif, tandis que son oxigène donne naissance par une action secondaire à de petites quantités de matière résineuse, huileuse ou éthérée, ainsi qu'à de l'acide carbonique, quand l'action est énergique. Tout porte à croire que l'accroissement qu'éprouve l'action voltaïque, par la présence de la potasse dans l'alcool et l'esprit pyroligneux, dépend de son affinité pour les produits secondaires.

1501. Pour s'assurer que l'eau avait été directement décomposée, on a introduit dans le circuit un voltaïmètre. Les deux pôles négatifs ayant donné la même quantité d'hydrogène, on a dû en conclure que l'esprit pyroligneux, comme l'alcool, contient réellement de l'eau, comme principe constituant essentiel. Dès lors l'esprit pyroligneux peut être considéré comme un hydrate d'éther pyroligneux, de même que l'alcool est un hydrate d'éther sulfurique. D'après ces idées, la formule de l'éther pyroligneux sera $H^6 C^2 O$, et celle de l'esprit pyroligneux $H^6 C^2 O + H^2 O$.

§ II. *Action du courant voltaïque sur les solutions aqueuses d'hydracide ou de sels haloïdes.*

1502. M. Connell a essayé de montrer, dans son premier mémoire, qu'un courant électrique, assez intense pour décomposer l'eau distillée, ne dégageait pas de chlore ou de l'iode des solutions aqueuses des hydracides correspondants et des sels haloïdes, dans lesquelles le dégagement d'oxigène n'avait pas lieu au pôle positif de la solution, mais bien dans de l'eau distillée en relation avec cette solution, au moyen d'une mèche d'asbeste, et que ce n'était qu'après un temps considérable que le chlore ou l'iode apparaissait dans l'eau positive, où l'on avait fait passer l'acide de manière à donner lieu à une action secondaire. Par exemple, quand une solution d'acide hydro-chlorique, étendue de deux ou trois fois son volume d'eau, est placée dans un tube A (fig. 78) en relation avec le pôle négatif d'une batterie de 60 éléments de quatre pouces, et de l'eau distillée se trouve dans un tube semblable B, en rapport avec le pôle positif, les deux tubes communiquant ensemble au moyen d'une mèche d'asbeste, en quelques minutes on obtient de l'acide au pôle positif avec dégagement de gaz des deux côtés, et, peu après, on sent une très-faible odeur de chlore. En plongeant un papier réactif dans les liquides, on n'observe point de changement dans sa couleur. Une demi-heure après, l'odeur du chlore en B est encore légère, et le liquide qui y est renfermé donne une réaction sensible acide, tandis que le liquide de l'autre tube n'a point d'odeur de chlore et ne blanchit pas le papier. En renversant les communications, une forte odeur de chlore se fait sentir du côté du tube positif, avec une vive effervescence au pôle négatif et une moindre au pôle positif; le papier à réactif est blanchi aussitôt au pôle positif.

En opérant avec une solution légère d'acide hydriodique, toutes les circonstances étant exactement les mêmes que dans l'expérience précédente, on observe

d'abord une couleur brune due à la séparation de l'iode, dans le liquide B, avec dégagement de gaz aux deux pôles; on obtient en même temps une légère réaction acide sur la feuille du même côté. La couleur brune va en croissant, ainsi que la réaction acide au pôle positif. Le dégagement de gaz continue aussi de ce côté, mais il est moins considérable que sur la lame négative. Au bout d'environ 20 minutes, si les communications sont renversées, la feuille positive se recouvre aussitôt d'iode sans dégagement de gaz, tandis qu'une vive effervescence a lieu en même temps sur la lame négative. L'apparence du chlore ou de l'iode au pôle positif, avant le renversement, est due évidemment à l'acide qui passe dans l'eau positive. Cet effet a lieu plus rapidement dans le cas de l'iode que dans celui du chlore, probablement parce que l'acide hydriodique est plus facilement décomposable que l'acide hydro-chlorique.

Après le renversement, on ne voit pas immédiatement du chlore ou de l'iode au pôle positif, parce que l'oxigène est entièrement employé à décomposer l'acide correspondant.

L'expérience a été répétée avec trois tubes (fig. 79)? les tubes B et C renfermant de l'eau, et le courant étant fourni par une pile de 72 éléments. On avait dans ce cas une légère effervescence aux deux pôles, au bout de une à deux minutes. Après une demi-heure, le liquide en C a commencé à acquérir une légère teinte brune, avec une faible réaction acide au pôle positif; et, 10 minutes après, la teinte brune C était bien marquée, sans qu'il y eût la moindre décoloration dans le liquide de B ou de A. On avait en même temps la réaction acide sur l'asbeste entre B et C. La batterie ayant été renversée, il en résulta une décoloration au pôle positif, sans effervescence, tandis qu'il se dégageait du gaz au pôle négatif. L'iode, qui apparaissait dans le liquide positif, avant le renversement, provenait d'une action secondaire sur l'acide, qui avait marché jusqu'au pôle positif, à travers le liquide en B.

1503. En mettant une solution peu saturée de chlorure de potassium en A (fig. 78), et de l'eau distillée en B, et expérimentant avec une pile de 72 éléments, chacun de quatre pouces carrés on a obtenu, en deux ou trois minutes, de l'acide au pôle positif avec un dégagement de gaz aux deux pôles. Au bout de huit minutes, on observait une légère odeur de chlore, ainsi qu'une réaction acide du côté positif en A; 7 minutes après, le papier réactif ne blanchissait pas quand on le plongeait dans l'un des tubes; enfin on ne distinguait pas d'odeur de chlore en A.

Avec une solution peu saturée d'iodure de potassium, en cinq minutes, on a eu une réaction acide en A, on a observé, en même temps, du même côté, une teinte brune près de l'extrémité de l'asbeste, laquelle s'étendait jusqu'à la feuille positive, la couleur du liquide négatif n'étant point changée.

Ces résultats sont entièrement conformes à ceux qu'on a obtenus avec les hydracides; le chlore ou l'iode apparaissent en vertu du passage de l'acide au côté positif, et de l'action secondaire qu'il éprouve de la part de l'oxigène.

L'action secondaire est plus forte dans le cas de l'iodure de potassium, tandis que la quantité d'acide qui se rend du côté positif est beaucoup plus petite que dans le cas du chlorure de potassium.

§ III. *Action des courants sur les solutions alcooliques.*

1504. Je vais examiner maintenant la nature des changements produits par l'action du courant sur des solutions alcooliques d'une très-grande force.

Lorsqu'un sel oxacide à base puissante, comme le nitrate de chaux, est dissous dans l'alcool absolu, l'acide et la base cheminent chacun à leur pôle respectif, comme dans une solution aqueuse; mais l'action est beaucoup plus lente. Il y a dégagement de gaz au pôle négatif, et peu ou point au pôle positif. Quand la base est facile-

ment réductible, comme dans le nitrate de zinc, le dégagement de gaz au pôle négatif est moindre, et le métal réduit par l'hydrogène se dépose à ce pôle, mêlé avec de l'oxide.

Quand la solution d'un acide dont les éléments sont fortement unis, comme l'acide borique, ou d'un alcali, comme la potasse, est soumise à l'action du courant, il y a effervescence au pôle négatif et non au pôle positif; excepté lorsqu'on opère sur une forte solution d'un alcali hydraté.

1505. Toutes les fois qu'un fort dégagement de gaz se manifeste au pôle positif, rien n'indique pour cela la décomposition du corps dissous. Quand le métal d'un sel haloïde possède de grandes affinités, comme le potassium, le calcium ou le magnesium, il y a alors un dégagement rapide d'hydrogène, et l'oxide du métal paraît en plus ou en moins grande quantité au pôle négatif. Dans ce cas, il est probable qu'une portion de l'hydrogène naissant se combine avec l'élément électro-négatif du sel haloïde et que le métal séparé réagit sur l'eau de l'alcool; l'oxide se dissout dans l'alcool, quand il en est capable. Là où le métal est d'une réduction facile, comme dans le cas de l'oxide de zinc, l'effervescence au pôle négatif est diminuée, quoiqu'elle ne cesse pas, et le métal se sépare par suite de la combinaison d'une partie de l'hydrogène avec l'élément électro-négatif du sel haloïde.

Passons maintenant aux changements produits par l'action des courants sur de l'alcool contenant une forte quantité de potasse. Après une action de 20 à 30 minutes, le liquide commence à prendre une couleur foncée; une heure après on trouve sur la lame positive une substance blanche, qui n'est autre que du carbonate de potasse. Au bout de quelques heures, l'effervescence est faible au pôle négatif et nulle au pôle positif; le liquide possède alors la couleur du vin de Porto; après une action de près de vingt-quatre heures, l'effervescence est faible et la couleur devient d'un rouge très-sombre. En évaporant la solution jusqu'à siccité et dissolvant dans

l'eau le résidu, et le saturant avec de l'acide hydro-chlorique, on a un précipité abondant de matière résineuse.

1506. M. Dobereiner (1) a observé aussi la formation d'une matière résineuse, en petite quantité à la vérité, dans une solution alcoolique de potasse, soumise à l'action d'un courant; mais il n'a point fait mention du dégagement de gaz à l'un des deux pôles, comme l'indique M. Connell; il se borne seulement à considérer la formation de cette matière résineuse, comme un effet de l'oxidation de l'alcool.

M. Connell, ayant recueilli le gaz dégagé, a trouvé qu'il était formé d'hydrogène, renfermant environ $\frac{1}{20}$ d'oxigène venu du pôle positif; il est probable que le reste de l'oxigène a été employé à produire l'action secondaire, d'où est résultée la matière résineuse.

1507. Tout concourt à prouver que lorsque des solutions alcooliques d'acide, d'alcali et de sels oxacides, sont soumises à des actions voltaïques, l'eau de l'alcool est le sujet de l'action directe du courant, tandis que les corps dissous, à l'exception des sels oxacides, ne sont pas décomposés. Quant aux solutions alcooliques des sels haloïdes, il est permis de croire, d'après la présence de l'élément électro-négatif au pôle positif, du moins avec des iodures, que c'est réellement le sel haloïde qui est directement décomposé, et que la quantité définie d'hydrogène, recueillie au pôle négatif, provient de la réaction du métal du sel haloïde décomposé sur l'eau constituante de l'alcool. Telle est l'opinion que l'on peut avoir aujourd'hui, concernant l'action des courants sur les solutions alcooliques en général, opinion qu'on peut encore appuyer sur une foule de faits qui ne peuvent trouver place ici.

§ IV. *De l'état des sels haloïdes dans leur dissolution dans l'eau.*

1508. On a longtemps agité la question de savoir si

(1) Ann. de poggeud., vol. XXIV, pag. 609.

les chlorures et autres sels analogues sont dissous par l'eau ou décomposés par elle, c'est-à-dire, s'ils existent en solution à l'état de chlorure ou d'hydrochlorate; mais aujourd'hui les chimistes sont généralement d'accord que la première explication doit être la seule adoptée, en raison des propriétés du chlore.

M. Connell a fait une série d'expériences électrochimiques dont les résultats lui paraissent propres à faire adopter l'opinion opposée. Comme ces expériences ont donné des faits, je dois les faire connaître. Je ne rappellerai pas tous les arguments qui ont été mis en avant pour soutenir l'existence des chlorures dans les solutions aqueuses, attendu que cette discussion n'est pas de mon ressort; je me bornerai seulement à exposer les expériences principales qui ont été mises en avant par M. Connell pour combattre cette doctrine.

1509. De l'alcool absolu contenant $\frac{1}{40}$ d'iodure de potassium en solution a été mis dans un tube de verre, communiquant de chaque côté au moyen de mèches d'asbeste, humectées d'alcool, avec une coupe de verre contenant de l'eau; une de ces coupes était en relation avec le pôle négatif, et l'autre avec le pôle positif d'une pile de 50 plaques de 2 pouces. L'appareil est représenté fig. 80. B est le tube qui renferme la solution alcoolique; A et C les coupes remplies d'eau. En huit minutes, l'iode a commencé à paraître en C autour du pôle positif avec dégagement de gaz aux deux pôles. Quarante minutes après, on n'a pu découvrir aucune trace d'acide ou d'alcali dans la dissolution alcoolique en B, attendu que les deux éléments du sel avaient été enlevés. D'un autre côté, on a trouvé de l'alcali dans toute l'étendue du pôle négatif en A, tandis que l'on n'a observé nulle part de réaction acide. A la fin de l'expérience, l'iode était à l'état libre en C, sans qu'il y en eût aucune trace en B ou en A.

Avec une batterie de 72 couples, de 4 pouces, et 3 tubes, l'iode a commencé à paraître en C au bout d'environ 4 minutes; 18 minutes après, on n'a pu découvrir ni acide ni alcali dans la solution alcoolique en B;

mais on a remarqué des traces d'acide sur l'asbeste communiquant avec la surface de l'eau positive en C, et l'alcali s'est montré d'abord au pôle négatif. Au bout de 3 quarts d'heure, il n'y avait encore ni acide ni alcali en B, tandis que la réaction acide était bien marquée à l'endroit où elle s'était d'abord montrée. Il y avait en même temps beaucoup d'iode libre en C.

1510. Mettons en regard ces résultats avec ceux qui ont été obtenus dans une solution aqueuse renfermant $\frac{1}{40}$ d'iodure de potassium, toutes choses restant les mêmes comme dans l'expérience précédente. On a observé d'abord une réaction acide sur le côté positif de la solution en B, avec de l'alcali sur l'asbeste entre A et B, et dégagement de gaz aux deux pôles, et cela dans l'espace de 15 minutes. Pendant 40 minutes on ne voyait que de légères traces d'acide au pôle positif et sur l'asbeste entre B et C, tandis qu'une sorte de réaction acide continuait dans le liquide en B, et une réaction alcaline au pôle négatif et sur l'asbeste en A et B. Une légère décoloration de l'eau avait commencé au bout de ce temps en C, sans aucun changement de teinte en A ou en B.

Cette expérience a été répétée avec une forte solution aqueuse d'iodure de potassium; l'eau contenait un tiers de son poids de ce sel: en 5 minutes, on a obtenu des traces d'acide sur l'asbeste entre B et C, avec de l'alcali au pôle négatif. En 15 minutes il y avait aussi une trace d'acide au côté positif de la solution en B, tandis qu'au pôle positif il n'y avait pas d'acide. En 40 minutes, la réaction acide du côté positif de B était très-marquée, tandis que toutes les autres réactions acides l'étaient peu. On a observé aussi de l'alcali sur le côté négatif de B et au pôle négatif. En employant une batterie de 72 paires de plaques de quatre pouces, on a eu un peu d'acide au pôle positif en 5 minutes, et une forte quantité d'acide au côté positif de B, en 15 minutes, avec de l'alcali au pôle négatif et sur l'asbeste voisin. Pendant 40 minutes la réaction en B a continué à croître et est devenue très-forte, tandis qu'elle a continué à être très-légère à tous les endroits où on l'avait observée auparavant.

1511. Résumons les faits observés pour en tirer des conséquences relatives à la question qui nous occupe.

1° Quand on opère sur des solutions alcooliques de chlorure et d'iodure dans les circonstances précédemment indiquées, on n'a pas observé qu'il y eût de l'acide produit. 2° Quand on emploie des solutions aqueuses de ces substances, les hydracides correspondants sont produits dans les solutions. 3° Quand on fait usage des solutions alcooliques, les hydracides correspondants sont produits au point de contact des solutions alcooliques et de l'eau avec laquelle ils sont en communication. 4° Les hydracides provenant de ces deux opérations sont transportés au pôle positif qui se trouve dans l'eau. Voyons maintenant les conséquences que M. Connell tire de ces faits :

Supposons, dit-il, que l'eau soit seulement décomposée directement dans la solution aqueuse, par une série de décompositions et de recompositions, suivant les idées reçues, jusqu'à ce que ses éléments soient transportés à leurs pôles respectifs; dans ce cas, on ne peut expliquer la production de l'acide dans la solution aqueuse, dans les circonstances décrites; si l'on suppose que le chlorure ou l'iodure seul soit décomposé directement, et que ses éléments se dirigent de la même manière vers leurs pôles respectifs, on peut faire la même objection. Si l'on admet, enfin, que l'eau et le chlorure ou l'iodure éprouvent la décomposition électro-chimique, et que leurs éléments qui se dirigent sur le même pôle, s'unissent dans leur route, ou bien que l'élément électro-négatif de l'eau s'unisse avec l'élément électro-positif du sel, et que les deux autres éléments se combinent aussi ensemble, la première de ces alternatives se trouve en opposition avec le fait observé, savoir, que l'acide en passant au pôle positif est l'hydracide et non l'oxacide. La seconde n'est pas seulement en désaccord avec les idées généralement reçues, que les éléments sont transportés par le courant à leurs pôles respectifs, par une série de décompositions et de recompositions; mais elle ne s'accorde pas non plus

avec la circonstance de la non production d'acide dans la solution alcoolique; car l'alcool contient de l'eau, qui éprouve une décomposition voltaïque; ainsi donc, une solution alcoolique, aussi bien qu'une solution aqueuse, présente la condition nécessaire pour une double décomposition, si une décomposition semblable peut réellement se présenter. Les faits observés paraissent donc, suivant M. Connell, en désaccord avec l'idée que les chlorures et les iodures sont dissous comme tels dans l'eau.

Ces mêmes faits, d'après lui, peuvent être expliqués en admettant que les haloïdes sont à l'état d'hydro-chlorates, d'hydriodates, etc. Quand un sel, composé d'acide et d'alcali, est dissous dans l'eau, ses principes constituants se rendent, sous l'action voltaïque, à leurs pôles respectifs; dans les expériences précédentes, l'acide doit être formé dans la solution, du côté positif, et s'y accumuler, s'il est produit plus rapidement que transporté dans l'eau positive, ce que démontre l'expérience.

Pour comprendre ceci, il faut se rappeler que lorsque les pôles sont dans la solution, l'acide doit d'abord paraître au pôle positif et se répandre dans le liquide où il s'accumule; mais quand les pôles sont au delà de la solution, l'acide doit cheminer de la solution au pôle à travers l'eau interposée, et s'il n'est pas transporté à travers l'eau aussi vite qu'il se forme, il doit s'accumuler dans la solution. Je ne poursuivrai pas plus loin la discussion que M. Connell a soulevée, contrairement à l'opinion générale; je me bornerai à dire qu'en résumé, ses expériences tendent à mettre en évidence les faits suivants : que dans une solution alcoolique d'acides, d'alcalis et de sels haloïdes, l'eau de l'alcool seulement est décomposée.

Les phénomènes électro-chimiques ne prouvent pas que l'éther contienne de l'eau, attendu que lorsqu'on soumet à l'action d'une batterie de 50 piles de 2 pouces des solutions de potasse, d'acide chromique dans l'éther, il n'y a aucune apparence de décomposition, et le multiplicateur n'est pas affecté; tandis que dans les solutions

aqueuses et alcooliques, l'eau, et non le corps dissous, est décomposée.

Il arrive ainsi à la conclusion générale suivante : quand des solutions de combinaisons binaires, de substances élémentaires, dans l'eau, l'alcool ou l'éther, sont soumises à l'action d'un courant, la substance dissoute n'est pas directement décomposée, mais seulement le dissolvant, s'il est un électrolyte. Cette loi est naturellement limitée aux composés des corps élémentaires; car lorsqu'un sel est dissous dans l'eau, ses deux éléments sont séparés sous l'influence de l'action voltaïque.

CHAPITRE VII.

DES MODIFICATIONS CHIMIQUES QU'ÉPROUVENT L'ACIDE NITRIQUE, L'ALCOOL, SOUS LA DOUBLE INFLUENCE DU COURANT VOLTAÏQUE ET DU PLATINE, ETC.

1512. On a vu, dans le chapitre précédent, l'action qu'exerce un courant voltaïque sur l'alcool, l'éther, et divers composés analogues. Les résultats obtenus à ce sujet par M. Connell confirment les vues des chimistes sur la composition de l'alcool et de l'éther; M. Schœnbein a étudié aussi l'action d'un courant sur l'alcool et l'éther, ainsi que sur l'acide nitrique, mais sous un autre point de vue (1).

Lorsque l'on soumet à l'action d'un courant de l'acide nitrique concentré, il n'y a point de dégagement de gaz sur le fil négatif, attendu que ce gaz, qui est de l'hydrogène, se combine avec une partie de l'oxigène de l'acide nitrique qu'il transforme en acide nitreux. Avec de l'acide nitrique étendu, on obtient de l'oxigène et de l'hydrogène aux deux pôles; néanmoins, si l'on opère avec de l'acide nitrique le plus concentré possible, il se fait un dégagement de gaz pendant quelques instants au pôle négatif. Pour se rendre compte de ces différents effets, M. Schœnbein s'est livré à une série de recherches dont je vais donner une idée.

(1) Bibl. univ. de Genève, t. XXI, p. 358.

1513. Si l'on soumet à l'action d'une pile composée de 16 éléments, au moyen de deux lames de platine, de l'acide nitrique à 1, 49, il se dégage au pôle négatif un gaz pendant une seconde au plus, qui est probablement de l'hydrogène. En étendant le liquide de la moitié de son volume d'eau, le dégagement de ce gaz dure plusieurs secondes. Avec un mélange d'acide à parties égales, le dégagement dure au moins une demi-minute; et s'il y a deux fois autant d'eau que d'acide, le dégagement de gaz est continu. La grosseur du fil négatif exerce une telle influence sur la durée du dégagement, que cette durée est d'autant plus courte que le diamètre du fil est plus fort. Nous verrons bentôt que l'état de cohérence du platine; ainsi que la force du courant, exercent également une grande influence sur les résultats.

Lorsque le dégagement de gaz doit cesser, en opérant avec un degré de concentration convenable, on peut, à l'aide des moyens suivants, mettre le fil de platine négatif dans un tel état qu'il ne s'y dégage point de gaz.

Premier procédé : Si, avant de plonger le fil négatif dans le liquide, on le met en contact avec le fil polaire positif qui s'y trouve déjà, et qu'on l'y plonge ensuite, en l'éloignant de l'autre, il ne se dégage point de gaz autour de ce fil négatif. Cet effet n'a pas lieu dans un mélange composé d'un volume d'acide nitrique à 1, 49, et d'un volume d'eau. Second procédé : Quand le fil polaire positif plonge déjà dans le liquide et qu'on y plonge ensuite l'autre, chauffé préalablement au rouge, il n'y a point de dégagement de gaz. Le troisième procédé consiste à faire passer un fil d'un état à l'autre. Si les deux fils polaires plongent dans le liquide, et que le fil négatif se trouve à l'état de préparation précédemment indiquée, un second fil de platine, non préparé, qui communique par l'un de ses bouts avec le fil négatif, peut être introduit dans l'acide sans qu'il y ait pour cela dégagement de gaz. L'état passif de ce second fil subsiste même après avoir retiré le fil préparé. Lorsqu'un fil de platine a perdu la faculté de laisser dégager de l'hydrogène à sa surface, on peut

la lui rendre en retirant le fil du liquide et le laissant pendant quelque temps exposé à l'air. Plus l'acide est concentré, plus le fil doit rester longtemps dehors.

1514. Les expériences suivantes feront connaître avec détails le mode d'action exercée par un courant sur l'acide nitrique.

1re *Expérience.* Un fil de platine, d'une demi-ligne de diamètre, qui a fonctionné pendant 5 secondes comme électrode négatif, se recouvre de petites bulles de gaz. Si l'extrémité de ce fil est terminée par une éponge de platine, il ne se dégage pas de gaz, ni au moment de l'immersion ni après. Cette différence dans les effets est remarquable.

2e *Expérience.* En expérimentant sur un mélange composé de 3 volumes d'acide nitrique à 1,36 et d'un volume d'eau, le fil polaire négatif ne peut passer à l'état passif que par la chaleur rouge et par le transport. On y parvient également en retirant le fil hors du circuit pendant quelques instants.

3e *Expérience.* De l'éponge de platine qui a servi d'électrode négatif, arrête tout dégagement de gaz.

1515. M. Schœnbein a fait encore d'autres expériences, en variant les proportions de l'acide et de l'eau, afin de mettre en évidence ce qui est relatif à la passivité de l'éponge. Mais je me bornerai aux deux suivantes : Quand le liquide est formé d'un volume d'acide nitrique à 1, 35, et de 3 volumes d'eau, si l'on ferme le circuit avec de l'éponge de platine chauffée au rouge, il s'écoule environ 6 secondes avant que le dégagement d'hydrogène commence. En chauffant l'éponge humectée d'acide, on diminue sensiblement la vivacité du dégagement de l'hydrogène, mais sans l'arrêter.

Avec de l'acide renfermant 4 volumes d'eau, les effets sont les mêmes, lorsque l'éponge est chauffée au rouge; mais si on chauffe l'éponge humectée d'acide, le dégagement de gaz a lieu immédiatement. Ce dégagement ne dure que quelques instants, puis il recommence au bout de quelques secondes pour ne plus s'arrêter.

Je me borne à exposer les faits sans chercher à les expliquer, attendu que je ne pourrais le faire que d'une manière incomplète, les phénomènes de la passivité du fer et de quelques autres corps dépendant de causes qui ne sont pas encore bien connues.

1516. J'arrive maintenant aux effets obtenus avec l'alcool et l'éther. Les expériences de M. Dœbereiner ont montré que le platine dans un grand état de division détermine l'alcool à absorber assez rapidement de l'oxigène qui se combine avec une portion de son hydrogène. M. Schœnbein a pensé qu'il était probable que l'oxigène qui se dégage sous l'influence du courant voltaïque, et qui est à l'état naissant, pourrait agir chimiquement sur les liquides hydrogénés, par exemple, sur l'alcool, au lieu de se dégager à l'état de gaz sur l'électrode positif. Voyons comment l'expérience a confirmé cette conjecture. On prend 1 volume d'eau et 2 volumes d'alcool dans lequel on fait dissoudre une petite quantité d'acide phosphorique hydraté pour le rendre meilleur conducteur. Si l'on fait passer dans ce liquide le courant d'une pile de 16 éléments, en prenant une éponge de platine pour électrode positif, et que l'on ferme le circuit avec un fil négatif, il ne se dégage pas d'oxigène sur l'éponge, pourvu toutefois qu'on l'ait fait chauffer jusqu'au rouge avant l'immersion. Si l'immersion a lieu à froid, il se dégage d'abord quelques bulles à sa surface, qui cessent peu d'instants après, tandis que l'hydrogène devient libre sur le fil négatif.

Lorsqu'on substitue un fil de platine à l'éponge, il se dégage toujours de l'oxigène, quel que soit le mode de préparation qu'on lui ait fait subir. Pour savoir ce que devient l'oxigène dans cette circonstance, il aurait fallu analyser avec soin le liquide, ce que n'a pu faire encore M. Schœnbein; il présume seulement qu'il doit se former de l'éther oxigéné de Dœbereiner ou de l'acétate d'éther de Liebig.

Quand on opère avec un mélange formé de volumes égaux d'eau, d'alcool et d'acide sulfurique ordinaire, on

obtient des résultats qui s'accordent parfaitement avec ceux dont on vient de parler. Ce n'est qu'en se servant d'éponge de platine comme d'électrode positif, que le dégagement d'oxigène peut être entièrement arrêté, et que l'on sent l'odeur d'acétate sur la surface du métal.

En opérant avec un mélange d'un volume d'acide nitrique à 1, 35, et d'un volume d'alcool, il ne se dégage aucun gaz sur les électrodes, quand l'un et l'autre sont en éponges de platine. En se servant de platine compacte pour l'électrode négatif, il se fait sur ce dernier un vif dégagement d'hydrogène. Quand l'électrode positif est formé d'un peloton un peu gros de fil de platine, on ne voit paraître également aucune trace d'oxigène à sa surface. L'odeur d'acétate se fait sentir sur le platine en éponge ou en peloton, de même que dans les cas précédents.

Si l'on opère sur un mélange composé de volumes égaux d'acide nitrique, d'alcool et d'eau, le dégagement d'hydrogène sur l'électrode négatif formé d'une éponge de platine a lieu sans obstacle; tandis qu'il ne se montre pas sur l'électrode positif formé de platine en éponge ou de platine compacte.

Si l'on se sert de fer pour électrode positif et qu'on ferme le circuit, il se fait à sa surface un dégagement d'oxigène assez vif. M. Schœnbein pense que ce fait démontre que le phénomène ne provient pas de ce que l'oxigène, étant à l'état naissant, réagit alors sur l'alcool, mais qu'il doit être attribué à l'influence spécifique que le platine exerce sur l'oxigène et l'hydrogène. En prenant pour électrode un fil d'or, il se dégage à sa surface de l'oxigène, mais en moins grande quantité que sur le fer.

Avec de l'alcool mêlé à une forte solution de potasse, on ne peut empêcher le dégagement de l'oxigène sur l'électrode positif.

En soumettant à l'expérience un mélange saturé d'éther et d'acide nitrique, il ne se dégage point d'oxigène sur l'électrode positif formé de platine compacte ou d'éponge. En employant un fil de platine comme électrode

négatif, il se fait à sa surface un dégagement d'hydrogène très-vif; mais si l'on y substitue une éponge chauffée préalablement avant l'immersion, il n'y a pas de dégagement de gaz. A l'instant où l'on forme la pile, il se fait sur l'électrode négatif un fort dégagement de gaz qui s'arrête au bout de quelques secondes, etc.

Les expériences précédentes suffisent pour montrer que dans des circonstances données on peut développer, dans l'oxigène rendu libre par la décomposition électrochimique, la faculté d'exercer une action chimique sur l'éther et l'alcool.

Les indications générales que je viens de présenter laissent entrevoir la possibilité d'employer avec succès l'action des courants électriques de faible intensité, pour produire des composés organiques analogues aux produits inorganiques que j'ai obtenus dans des appareils convenablement disposés. Je dois dire que M. Connell et un autre chimiste avaient obtenu déjà une matière résineuse en faisant réagir l'électricité par l'alcool.

On ne peut disconvenir qu'il ne soit difficile d'expliquer les faits que je viens de rapporter; je dois donc me borner à les rapporter, sans chercher à les lier par une théorie qui serait à l'époque actuelle incomplète.

CHAPITRE VIII.

DE LA POLARISATION ÉLECTRIQUE DES CONDUCTEURS SOLIDES ET LIQUIDES.

1517. On sait que lorsque deux lames de platine qui ont servi à la décomposition électro-chimique d'une solution, plongent dans un liquide conducteur et sont mises en communication au moyen d'un fil de métal, elles jouissent de la propriété de donner naissance à un courant dirigé en sens inverse du premier. Cette propriété, qui a été observée pour la première fois par Ritter, a été l'objet des recherches de plusieurs physiciens, entre autres de MM. Matteucci, Delarive et de moi. M. Schœnbein en a fait aussi tout récemment l'objet d'un travail dont je vais exposer la substance.

M. Delarive a attribué la polarisation des lames à un état électrique particulier au fil polaire, produit par l'influence du courant primitif, tandis que je la considère comme le résultat d'une action chimique, c'est-à-dire, comme la conséquence du dépôt sur les lames décomposantes, de substances ayant le caractère acide ou alcalin. M. Schœnbein, qui ne partage pas cette dernière opinion, et désirant remonter à la cause du phénomène, a commencé par soumettre à l'expérience des liquides ne renfermant point de sel en solution, afin d'éviter le dépôt des substances acides ou alcalines.

Un tube en U a été rempli d'acide sulfurique parfaitement pur; dans chacune des branches se trouvait

un fil de platine très-propre, et en relation avec un galvanomètre à fil long, d'une grande sensibilité; l'aiguille aimantée n'éprouva aucune déviation. Ces fils furent mis en communication, pendant deux secondes, avec les pôles d'une pile dont le courant était assez fort pour décomposer l'eau. Les pôles de la pile ayant été enlevés et la communication rétablie entre les fils polaires, l'aiguille tourna avec violence plusieurs fois sur elle-même. Les effets furent encore les mêmes en soumettant à l'expérience un mélange d'acide sulfurique et d'eau, etc.

Tous ces courants ont une durée plus ou moins longue. Ce physicien a reconnu, ce que l'on avait déjà également observé, que si l'on interrompt le circuit, on peut encore, plusieurs heures après, obtenir un courant au moment où on le rétablit. M. Schœnbein a encore observé que si des fils polarisés, plongés dans de l'acide sulfurique étendu, restent en communication avec le multiplicateur, jusqu'à ce que l'aiguille soit revenue à zéro, on voit reparaître un courant qui chemine dans la même direction que le premier courant secondaire, quand, après avoir rompu le circuit, on le rétablit quelques secondes après: seulement, ce second courant secondaire a une intensité plus faible que le premier.

Les fils d'or produisent les mêmes effets que les fils de platine; cependant, toutes choses égales d'ailleurs, la déviation de l'aiguille est un peu plus considérable avec l'or qu'avec le platine. Il peut se faire que la différence de conductibilité entre les deux métaux soit la cause de cet effet.

1518. Si on substitue le fer à ces métaux, et qu'au lieu d'acide sulfurique étendu on prenne une solution de potasse, les fils, après avoir été traversés seulement pendant cinq secondes, par un courant qui peut à peine décomposer l'iodure de potassium, sont si fortement polarisés, que l'aiguille est déviée de 180°. Le zinc et d'autres métaux présentent les mêmes effets. M. Schœnbein en tire les conséquences suivantes : Du seul fait que, dans l'acide sulfurique pur ou dans une solution de po-

tasse, les conducteurs sont polarisés par le passage d'un courant, on doit en conclure que ma théorie n'est pas exacte, attendu qu'il n'y a aucune décomposition de sel. Je répondrai à cette objection, que les faits observés viennent, au contraire, lui donner de la force. En effet, on a vu que deux lames de platine qui ont été mises en contact pendant quelque temps, l'une avec du gaz oxigène, l'autre avec du gaz hydrogène, acquièrent la propriété de produire un courant, quand on les plonge dans l'eau, et qu'on les met en communication avec un fil de métal, de même que si elles avaient servi à décomposer l'eau. Or, comme ces deux gaz, et en général deux gaz qui peuvent se combiner ensemble, jouent l'un le rôle d'acide, l'autre celui d'alcali, le résultat obtenu avec l'acide sulfurique ou la solution alcaline confirme l'explication que j'ai donnée.

Je dois ajouter cependant que M. Schœnbein a examiné jusqu'à quel point les particules élémentaires de l'eau qui adhèrent aux fils polaires pouvaient donner lieu au courant par leur combinaison. Les faits suivants lui ont paru contraires à cette idée. Lorsque l'on remplace l'électrode négatif par un fil de platine qui n'a pas été en communication avec la pile, et dont la surface, par conséquent, n'est pas recouverte d'hydrogène, il y a encore un courant produit. Dès lors, suivant lui, il faut rejeter la combinaison de l'oxigène avec l'hydrogène pour la cause du courant. Je répondrai que, dans ce cas, le courant est produit par la réaction de l'oxigène sur l'eau ; d'où résulte de l'eau oxigénée. Dans cette réaction, l'oxigène produit de l'électricité positive, et l'eau de l'électricité négative. M. Schœnbein oppose encore à mon explication le fait cité plus haut, savoir, que lorsque par l'effet de la fermeture du circuit les fils polarisés ont entièrement cessé de produire un courant, ils reprennent ce pouvoir, si l'on vient à l'ouvrir et à le fermer ensuite. Il est probable que, dans cette circonstance, l'effet primitif est masqué par une contre-polarisation qui disparaît après quelques instants, lorsque l'oxigène et l'hydrogène se trouvant en présence sur la même lame de platine, se sont recombinés.

1519. M. Schœnbein ne paraît pas avoir une opinion arrêtée sur la cause du phénomène. Il rappelle cependant, à ce sujet, les résultats de ses recherches sur la variabilité du caractère électro-chimique du fer, et ce fait que ce métal, en le faisant fonctionner comme électrode positif, devient tellement négatif que, comme l'or et le platine, il laisse dégager à sa surface de l'oxigène obtenu par la voie électrolytique et n'est attaqué ni par l'acide nitrique ni par une solution de cuivre. Ce métal, ainsi modifié, se transforme de nouveau en élément positif, en le faisant fonctionner un instant seulement comme électrode négatif. Si donc, ajoute-t-il, le fer naturellement positif devient négatif en fonctionnant comme électrode positif, il n'est pas étonnant que dans les mêmes circonstances les autres métaux subissent une semblable modification dans leurs propriétés électro-chimiques, et qu'ainsi le platine fonctionnant comme pôle positif devienne plus négatif encore qu'il ne l'est dans son état naturel, et qu'inversement ce métal devienne positif quand il fonctionne comme pôle négatif. Ce n'est là encore qu'une explication vague, une conjecture, qu'on doit simplement considérer comme telle.

Je conviens que les phénomènes sont du même ordre; lorsque le fer fonctionne comme électrode positif, sa surface se recouvre d'une couche d'oxigène, de même que la lame de platine qui a servi d'électrode positif. Cette couche d'oxigène se trouve dans un tel rapport avec les particules du fer, qu'elle masque en quelque sorte leurs propriétés chimiques sur les liquides environnants. Mais le fer et le platine ainsi recouverts perdent peu à peu, soit à l'air libre, soit au contact du liquide, les particules d'oxigène, et rien n'empêche alors que celles-ci se combinent avec l'eau, d'où résulte un courant, comme je l'ai déjà dit.

Passons maintenant à d'autres phénomènes qui ont été observés par M. Schœnbein. On prend un tube recourbé en U, contenant de l'acide hydro-chlorique ou sulfurique parfaitement pur. On met pendant quelques se-

condes ce liquide en communication, au moyen de fils de platine, avec les pôles d'une pile capable de produire un dégagement de gaz; puis on remplace les fils polaires par d'autres fils qui n'ont pas encore été soumis à l'influence du courant, et l'on ferme le circuit dans lequel se trouve un multiplicateur. L'aiguille aimantée est déviée dans une direction qui annonce qu'un courant chemine de la partie du liquide qui était en communication immédiate avec le fil polaire négatif, vers la partie en communication avec le fil polaire positif.

Dans cette circonstance, la direction du courant n'est pas déterminée par l'état de polarisation des fils, mais bien par celui des liquides. Ce fait a été observé également par M. Peltier, et bien antérieurement par M. Vanbeck, qui a trouvé qu'une solution d'eau salée, divisée en deux parties et dans l'une desquelles se trouvait une lame de cuivre et dans l'autre un morceau de fer en contact avec la lame, pouvait servir ensuite à garantir un morceau de cuivre, pendant quelque temps, sans la présence d'un morceau de fer. Nous voyons donc que les liquides peuvent se polariser comme les substances solides. Cette polarisation est la même dans les deux cas, attendu que lorsqu'on fait passer un courant dans de l'eau au moyen d'une lame de platine, la partie du liquide qui est située du côté de la lame positive renferme de l'oxigène, et la partie qui est du côté opposé, de l'hydrogène; aussi trouve-t-on les mêmes effets lorsqu'on opère avec deux portions d'eau en contact, dont l'une a été longtemps agitée avec l'oxigène, et l'autre avec de l'hydrogène. Je le répète, les phénomènes dans les deux cas sont du même ordre et peuvent être expliqués au moyen des effets électro-chimiques.

1520. M. Schœnbein a fait quelques expériences sur le rapport qui existe entre la force du courant secondaire produit par les fils polaires et la force du courant produit uniquement par les parties du liquide dans lesquelles des fils non polarisés plongeaient. Il paraît résulter de ces expériences, que ces rapports dépendent principalement de la nature chimique du liquide. Si ce liquide est de l'a-

cide hydro-chlorique, on peut, comme on l'a dit plus haut, changer la position respective des fils polaires, sans changer la direction du courant secondaire; dans ce cas, le courant secondaire produit par le liquide surpasse en énergie celui qui est dû aux fils polaires. Avec de l'acide sulfurique étendu d'eau on ne peut changer les fils polaires d'une branche du tube dans l'autre, sans changer aussi la direction du courant. Dans ce cas, il est évident que les fils sont plus fortement polarisés que le liquide.

1521. Le même physicien a reconnu que la durée des courants produits par les liquides polarisés, de même que celle des courants obtenus avec des fils polarisés, n'est point momentanée. Il paraît que le rapport qui existe entre le temps de la durée, dans les deux cas, dépend essentiellement de la nature du liquide. L'état de polarisation électrique semble se maintenir plus longtemps dans l'acide sulfurique pur que dans les lames métalliques.

Quant au degré de facilité que possèdent les corps à prendre l'état de polarisation, il existe une grande différence entre les conducteurs solides métalliques et les conducteurs liquides.

L'expérience montre que le même courant, qui peut polariser sensiblement des lames de platine, n'a pas assez de force pour polariser de l'acide hydro-chlorique, celui de tous les liquides essayés jusqu'ici qui se polarise avec le plus de facilité.

D'un autre côté, les liquides jouissent, comme les solides, d'une propriété indiquée précédemment: c'est de prendre de nouveau des électricités différentes sans avoir besoin d'un nouveau courant. Il suffit pour cela de faire passer, pendant 10 secondes, à travers de l'acide hydro-chlorique, renfermé dans un tube en U, un courant qui ne décompose pas cet acide d'une manière sensible, d'introduire ensuite dans les branches du tube de nouveaux fils de platine, en communication avec le multiplicateur, et de tenir le circuit fermé jusqu'à ce que

l'aiguille soit revenue à zéro. Si l'on ouvre de nouveau le circuit et qu'on le referme cinq secondes après, l'aiguille est déviée, et reprend bientôt après sa position normale. On peut répéter plusieurs fois de suite ces différents effets.

M. Schœnbein pense, relativement à la cause qui produit ces courants secondaires dans les liquides, que le courant primitif doit modifier d'une manière quelconque le liquide renfermé dans les branches du tube. Quelle est cette modification ? Tout en combattant mon opinion, il avoue que lorsqu'on emploie comme liquide d'essai, de l'acide sulfurique ou de l'acide hydro-chlorique, on voit paraître de l'hydrogène dans la colonne négative et de l'oxigène et du chlore dans la colonne positive, et qu'il pourrait se faire que les éléments devenus libres se combinassent entre eux; d'où résulterait un courant dirigé comme l'indique l'expérience. Les considérations suivantes l'ont engagé cependant à rejeter cette explication. Si l'on fait passer, pendant quelques secondes, à travers de l'acide sulfurique, un courant assez fort pour produire un dégagement de gaz, et qu'on chauffe ensuite l'acide jusqu'à l'ébullition dans les deux branches, de manière que les deux colonnes de liquide ne se mêlent pas, on obtient les mêmes effets avec ce liquide qu'avec celui qui n'a pas été chauffé. L'acide hydro-chlorique soumis au même mode d'expérimentation, pendant 10 secondes, en employant un courant tellement faible qu'il ne produise pas de dégagement de gaz et qu'il décompose à peine l'iodure de potassium, se comporte de même. L'action électro-chimique, suivant M. Schœnbein, dans ces deux cas, est tellement faible, qu'on ne saurait admettre la présence du gaz dans le liquide. Je ne trouve pas la conséquence rigoureuse, car nous ne pouvons savoir quelle est la limite où s'arrête l'action décomposante du courant. Cette limite est bien au delà de celle que lui assignent les chimistes, attendu que ceux-ci veulent des produits formés, qu'on puisse recueillir, tandis que les physiciens ont d'autres caractères qui indiquent la décomposition.

1522. Enfin, M. Schœnbein conclut, de ses expériences, qu'il est très-vraisemblable qu'un courant produit un état de tension chimique entre les éléments de chaque molécule du liquide soumis à l'action du courant, lequel état de tension affaiblit momentanément l'affinité chimique des éléments de chaque molécule, et dispose ces molécules, par rapport aux électrodes, de manière que toutes les faces hydrogène des atomes d'eau sont tournées vers l'électrode négatif, et toutes les faces oxigène vers le positif. Suivant cette manière de voir, le courant secondaire serait dû à un état qui précède immédiatement la décomposition électro-chimique. Ce n'est encore là qu'une hypothèse gratuite, tandis que l'explication que j'ai donnée pour la polarisation des solides, et qui s'applique à la polarisation des liquides, est fondée sur des expériences qui paraissent s'y adapter parfaitement. En effet, si l'une des branches du tube en U renferme de l'eau qui a été longtemps en contact avec de l'oxigène, et l'autre de l'eau dans laquelle on a également agité de l'hydrogène, et qu'on plonge dans chacune d'elles une lame de platine très-propre, on a un courant dirigé dans le même sens que si les deux liquides avaient été polarisés par un courant; or, il est évident que si l'on fait chauffer les deux colonnes de liquide pendant quelques instants, on a encore un courant, mais moins fort que le premier, parce qu'il est extrêmement difficile d'enlever les dernières particules de gaz au liquide. D'après cela, je persiste dans l'opinion que j'ai émise pour expliquer la polarisation des lames métalliques et des liquides, sous l'influence d'un courant voltaïque.

CHAPITRE IX.

DES CAUSES QUI DÉTERMINENT L'UNIPOLARITÉ DANS CERTAINS CONDUCTEURS.

1523. J'ai déjà traité, dans cet ouvrage, la question relative aux conducteurs unipolaires; mais, comme les phénomènes qui s'y rapportent ont été étudiés depuis avec de grands développements par plusieurs physiciens et particulièrement par M. Ohm (1), j'ai pensé que le lecteur verrait avec intérêt le précis des observations que ce dernier a faites et des conséquences qu'il en a tirées, pour l'interprétation des phénomènes unipolaires en général.

On sait que lorsqu'on introduit dans un morceau de savon bien sec deux fils de métal en relation avec les deux pôles d'une forte pile, chaque pôle conserve sa tension primitive, et que si l'on touche avec un corps conducteur l'un d'eux, alors ce même pôle perd sa tension, tandis que l'autre conserve la sienne, comme si le circuit n'était pas fermé. La pile donne seulement dans ce cas des traces de courants électriques. Ces phénomènes sont communs aux savons et aux corps médiocres conducteurs; mais ce qui distingue le savon de ces derniers, c'est que si l'on touche le savon avec un corps

(1) Journal de Sebweigger, vol. XXIX, p. 385, etc., et vol. XXX, p. 385, etc.

conducteur, le pôle négatif se décharge, tandis que le pôle positif acquiert le maximum de tension qu'il prend quand l'autre est en communication avec la terre.

Les effets sont encore les mêmes quand on place dans le circuit de l'eau avec une éponge entre le savon et le fil négatif; mais si l'eau se trouve entre le fil positif et le savon, les deux pôles perdent leur tension. Dans ce cas, si un appareil décomposant fait partie du circuit, il y a dégagement de gaz.

Erman, à qui est due la découverte de cette propriété, a prouvé que le blanc d'œuf desséché en jouissait également ainsi que la flamme de phosphore, tandis que les flammes de gaz hydrogène et de tous les corps combustibles qui renferment ce même gaz produisent un effet opposé, c'est-à-dire, que le pôle positif se décharge, tandis que le pôle négatif acquiert sa plus forte tension quand on touche la flamme avec un corps bon conducteur. Les premiers ont été appelés corps unipolaires négatifs; les seconds, par opposition, corps unipolaires positifs.

1524. Fechner a critiqué avec raison cette classification tendant à donner un nom à chaque corps qui ne possède peut-être pas une propriété absolue; en effet, on a vu que le savon se change tout à coup en un conducteur également bon pour les deux électricités, aussitôt que l'on introduit de l'eau entre ce corps et le fil positif. Ce fait paraît entraîner la conséquence que l'inégalité d'action des deux pôles ne dépend pas de la nature du savon, mais d'une résistance particulière qui se développe au contact du métal positif et du savon par l'action du courant. Je passe sous silence les diverses théories qui ont été données des phénomènes unipolaires, pour exposer de suite les recherches de M. Ohm. Suivant ce physicien, la cause du phénomène n'existe pas, comme je viens de le dire, dans le savon, mais elle s'y développe par l'action du courant, dès l'instant où le circuit est fermé; ainsi le savon en communication avec la terre ne possède pas immédiatement la faculté que

je viens d'indiquer, il ne l'acquiert que quelque temps après; voyons comment ce fait est établi par l'expérience.

1525. On prend un morceau de savon en communication avec le sol au moyen d'une plaque de métal; de la face inférieure du morceau de savon part un fil de métal que l'on met en rapport avec le pôle négatif, et de la face supérieure un fil en communication avec le pôle positif; on place ensuite entre ce dernier et le morceau de savon une mince couche de vernis isolant. Au moyen de cette disposition on reproduit fidèlement toutes les propriétés unipolaires du savon.

Voici d'autres expériences qui prouvent que l'unipolarité n'existe pas dans le savon, mais qu'elle y est produite, après la fermeture de la chaîne, par l'action du courant:

M. Ohm ayant pris une pile à colonne de cent couples de quatre pouces carrés de surface, la partagea en deux parties. Les deux extrémités inférieures ayant été réunies métalliquement, les deux extrémités supérieures formaient les deux pôles de la pile; un électromètre de Bohnenberger fut mis en relation avec le pôle positif. On introduisit dans un morceau de savon très-frais que l'on tenait entre les doigts, deux fils de laiton polis, les deux pointes se trouvant à une distance de $\frac{1}{2}$ pouce environ; l'un de ces fils fut mis d'abord en relation avec le pôle négatif; la feuille d'or prit aussitôt son maximum d'écartement. L'autre fil ayant été mis ensuite en communication avec le pôle positif, en tenant toujours le savon entre les doigts, la feuille d'or revint dans sa position naturelle; mais avant d'y arriver, elle eut un temps d'arrêt, et reprit ensuite sa plus grande élévation. En rompant de nouveau, quelques instants après, la communication avec le pôle positif et la rétablissant, la feuille d'or revint insensiblement de son plus grand écartement à sa position naturelle.

Si l'on répète les mêmes expériences en retournant le savon ainsi que les fils, c'est-à-dire, en intervertissant l'ordre de ces derniers, on trouve qu'à l'instant où

l'ancien fil négatif touche le pôle positif, l'autre ayant été mis d'abord en jonction avec le pôle négatif, la feuille d'or revient à sa position primitive; tandis que l'autre pôle conserve sa tension.

En répétant la même expérience, sans changer la position du savon, le phénomène ne se présente plus une seconde fois; mais en renversant de nouveau le savon, on peut le reproduire, et ainsi de suite. Il faut seulement avoir l'attention de ne rien changer à la manière dont les fils sont enfoncés dans le savon, car pour peu qu'on les dérange, les effets n'ont plus lieu.

Ces phénomènes et d'autres analogues, que je ne rapporte pas ici, montrent bien que la cause des phénomènes unipolaires n'existe pas primitivement dans le savon, mais s'y développe après la fermeture du circuit; car le savon, quoique toujours en rapport avec la terre, n'a pas, à l'instant même de la fermeture, le pouvoir de maintenir le pôle positif dans sa plus grande tension; il ne l'acquiert qu'après un certain temps. Une fois qu'il la possède, il montre dans sa position retournée une force opposée relativement au pôle négatif.

Nous voyons donc qu'il s'opère dans le savon par l'action du courant un changement qui a un rapport déterminé avec la position de ce corps dans le circuit; au moyen de quoi le savon devient un corps unipolaire négatif, et un corps unipolaire positif quand on intervertit le sens du courant.

Il est évident d'après cela que l'on ne doit pas rechercher la cause de ces phénomènes ni dans un pouvoir conducteur inégal du savon et des autres corps analogues pour les deux électricités, ni dans une résistance inégale qu'éprouve le courant en passant du savon dans le métal ou du métal dans le savon, mais bien dans le produit qui se forme au pôle positif sous l'influence du courant; toute la question est là.

Pour compléter l'explication, il ne reste plus maintenant qu'à trouver la nature du composé qui se forme sur le fil positif; mais ce composé est tout simplement

un acide gras, de l'acide oléique ou de l'acide stéarique qui est de nature isolante, et dont sa combinaison avec la soude constitue le savon.

En résumé, nous voyons que le savon se trouvant entre des fils métalliques communiquant avec une pile d'une certaine énergie, l'alcali se porte sur le fil négatif et l'acide gras sur le fil positif; mais la propriété non conductrice de l'acide gras devient bientôt la cause d'un affaiblissement du circuit, jusqu'au point où la décomposition du savon ne pouvant plus s'effectuer, les phénomènes unipolaires du savon commencent à paraître.

Cette explication s'accorde avec toutes les expériences, et montre aussi pourquoi les phénomènes unipolaires n'ont pas lieu quand la pile a peu d'énergie; dans ce cas, les produits formés sont en si petite quantité qu'ils ne peuvent mettre obstacle à la circulation du courant.

1526. Voici encore quelques expériences qui confirment l'explication que je viens de donner : si l'on prend deux morceaux de savon n'ayant jamais servi, et aussi égaux que possible, qu'on les réunisse ensemble avec un fil métallique poli, et qu'on enfonce dans les faces opposées deux autres fils en communication avec les deux pôles d'une pile, on observe les effets suivants : touche-t-on avec le doigt le fil négatif ou le morceau de savon situé de son côté, le pôle négatif perd alors toute sa tension, tandis que le pôle positif atteint sa plus grande tension. Touche-t-on, au contraire, le fil mitoyen, alors les deux pôles prennent des tensions de même force, comme si la pile était ouverte. Si enfin on touche le pôle positif, celui-ci perd toute sa force, et le négatif prend sa plus grande tension. Ces effets s'expliquent facilement en admettant, comme je l'ai dit précédemment, que les bouts positifs sont recouverts d'une couche isolante d'acide gras.

Il est probable que les autres corps unipolaires doivent leur propriété à une cause analogue à celle que je viens d'indiquer. Avec le blanc d'œuf, on ne connaît pas encore la nature du corps isolant qui se dépose sur le

pôle positif. Même embarras avec les flammes : on ignore en outre à quelle partie de la flamme appartient le phénomène unipolaire. Voici, au surplus, ce que dit M. Ohm relativement à l'explication de l'unipolarité des flammes à gaz d'hydrogène : si l'on met les deux fils polaires de la pile dans la partie lumineuse d'une flamme, la vapeur d'eau formée entre ces fils suffit pour mettre la pile en action et produire par conséquent des décompositions. Autour du fil positif, il se dégage de l'oxigène qui oxide le métal s'il est de nature oxidable; autour du fil négatif il se dégage du gaz hydrogène qui forme une couche non conductrice, laquelle produit des phénomènes unipolaires positifs. Si cette explication est exacte, comme j'ai tout lieu de le croire, les effets ne doivent pas être les mêmes en opérant avec les fils d'un métal non oxidable.

1527. L'acide sulfurique concentré présente une action remarquable sous le rapport unipolaire. Pour la mettre en évidence, on interpose de l'acide sulfurique dans le circuit de la pile, au moyen de deux fils de laiton en rapport avec les deux pôles; quand on touche l'acide ou le fil négatif avec le doigt, ou n'importe quelle portion d'acide sulfurique, le pôle négatif perd son électricité, tandis que l'autre acquiert sa plus forte tension. En touchant, au contraire, le fil positif, le pôle correspondant se décharge, et l'autre atteint son maximum de tension. L'acide sulfurique est donc un corps unipolaire négatif, et qui plus est, un corps unipolaire très-puissant, comme l'expérience le montre; mais sa faculté unipolaire diminue et disparaît bientôt tout à fait en ajoutant peu à peu de l'eau. En unissant le fil négatif et l'acide par un conducteur liquide, les deux électromètres tombent en même temps comme le savon; le courant passe alors avec facilité. Il est probable que dans ce cas l'action décomposante du courant est trop faible pour déposer sur le fil positif des matières isolantes en quantité suffisante pour mettre obstacle au courant. L'acide sulfurique cependant se distingue du savon par cette circons-

tance particulière, qu'on peut prendre aussi, au lieu du conducteur humide, certains métaux, sans nuire pour cela à la force du courant. Si du fil de laiton communiquant au pôle positif, on conduit dans l'acide un arc d'or ou de platine, le courant qui était d'abord arrêté se montre avec une grande force, et toute tension au pôle disparaît. L'étain et le plomb produisent des effets semblables, mais non pas tout à fait au même degré que l'or et le platine.

1528. Au lieu des fils de laiton, on peut prendre des fils de zinc, et même de cuivre et d'argent : les effets sont les mêmes.

On voit donc qu'il y a des métaux, tels que le laiton, le zinc, le cuivre et l'argent, qui donnent à l'acide sulfurique des qualités unipolaires; et d'autres, tels que l'or, le platine, le plomb et l'étain, qui ne jouissent pas de cette propriété. Les premiers se recouvrent, par l'action des courants, de composés non conducteurs, qui ne se dissolvent pas ou se dissolvent difficilement dans l'acide, tandis que les autres ne donnent lieu à aucun effet de ce genre.

1529. M. Ohm a fait une série de recherches pour analyser les phénomènes produits avec de l'acide sulfurique, en employant une pile de 25 couples et un multiplicateur dont le fil formait 80 circonvolutions.

Les expériences ont été faites de la manière suivante : l'un des bouts du fil du multiplicateur a été soudé à la plaque inférieure de la pile, et à sa plaque supérieure a été soudé un gros fil recourbé, en communication immédiate avec une plaque de cuivre horizontale. A côté de cette plaque on a mis le vase de verre destiné à recevoir l'acide sulfurique, et de l'autre côté une plaque de cuivre semblable à la précédente et soudée à l'autre bout du multiplicateur. Des arcs de platine, d'or, d'argent, de cuivre, de laiton, etc., étaient préparés pour les expériences. La communication entre les deux plaques et l'acide a toujours été établie avec deux arcs de même métal; puis la déviation de l'aiguille aimantée notée de deux minutes en

deux minutes. Voici les principaux résultats obtenus :

Le zinc et le laiton ne donnent jamais une déviation au delà de 5 degrés, bien qu'elle monte à 70 degrés, si l'on verse dans l'acide une quantité d'eau à peu près égale à la sienne. Avec l'or et le platine et l'acide sulfurique concentré, on a une déviation qui ne va jamais au-dessous de 75 degrés. Avec ces quatre métaux l'aiguille prend toujours une position fixe. Cette stabilité dans les phénomènes n'a point lieu avec les métaux suivants, qui donnent tantôt un décroissement, tantôt un accroissement d'action : le plomb donne facilement 62°, l'étain 55°; l'aiguille avec ce dernier métal est toujours agitée; le fer, 31° avec des effets semblables; l'argent, 21° avec des variations qui font aller la déviation jusqu'à 27°, et le cuivre, 7° seulement, avec des variations qui vont jusqu'à 24°. Ces variations ne peuvent être attribuées qu'à la décapation des surfaces métalliques qui agissent alors avec plus de force.

Je dois ajouter aussi que les rapports d'action des différents métaux dans l'acide sulfurique concentré ne changent pas sensiblement lorsqu'on diminue le nombre des éléments, même jusqu'à quatre ou cinq. Les variations qu'éprouve l'aiguille avec le cuivre et l'argent, et autres métaux, sont d'autant plus sensibles qu'on diminue davantage le nombre des éléments.

1530. Je répète encore que les effets unipolaires observés doivent être rapportés évidemment à la formation de produits secondaires sur les fils positifs. Lorsqu'on opère avec des lames de zinc, on a une croûte de sulfate de zinc qui ne paraît pas soluble dans de l'acide sulfurique concentré, ou du moins qui ne l'est qu'à un très-faible degré; c'est dans cette insolubilité que réside la cause des phénomènes unipolaires que le zinc produit avec l'acide sulfurique concentré. En versant de l'eau dans l'acide sulfurique, le sulfate se dissout et le phénomène unipolaire disparaît. Si l'on examine avec attention les sulfates qui se forment par l'action du courant sur les métaux qui produisent l'unipolarité, on verra que c'est

à l'indissolubilité de ces sulfates dans l'acide sulfurique qu'elle est due. Il est inutile que je m'étende davantage sur les produits qu'on obtient avec le laiton, le cuivre, etc., attendu que je ne pourrais rien ajouter à ce que je viens de dire.

Puisque l'acide sulfurique produit des effets unipolaires par suite de la présence de composés isolants insolubles, qui se forment sur certains métaux servant à transmettre le courant, on peut en induire que d'autres acides doivent produire des effets analogues.

FIN DE LA 2e PARTIE DU Ve VOLUME.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LA DEUXIÈME PARTIE DU CINQUIÈME VOLUME.

LIVRE XIII.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ, DES ACTIONS ÉLECTRIQUES ET DES EFFETS DE L'INDUCTION.

CHAPITRE PREMIER.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LE CONTACT.

Pages.

§ I. Des effets électriques produits dans le contact des corps solides..... 1

§ II. Des effets électriques produits dans le contact des gaz et des métaux non oxidables..... 12

§ III. De l'oxidation du platine..... 20

§ IV. Observations relatives à une nouvelle théorie du contact..... 23

CHAPITRE II.

DES EFFETS DU CONTACT QUI PRODUISENT LA PASSIVITÉ DU FER ET DE QUELQUES AUTRES SUBSTANCES..... 31

CHAPITRE III.

DU DÉGAGEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ PRODUIT DANS LES ACTIONS CHIMIQUES ET DANS LES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE.

§ I. Des courants électriques produits dans l'action chimique des liquides les uns sur les autres..... 33

§ II. Des courants électriques produits par le contact des métaux et des sels en fusion..... 39

§ III. Développements relatifs aux phénomènes thermo-électriques..... 42

CHAPITRE IV.

DES EFFETS ÉLECTRIQUES PRODUITS DANS LES ACTIONS MÉCANIQUES.

Pages.

§ I. Des courants électriques produits dans le frottement des particules des métaux..... 44
§ II. De l'électricité dégagée dans le frottement des corps mauvais conducteurs 46
§ III. Du dégagement de l'électricité par frottement dans l'air raréfié et dans le vide..... 49

CHAPITRE V.

DESCRIPTION D'APPAREILS DESTINÉS A MESURER LES PHÉNOMÈNES D'ATTRACTION ET DE RÉPULSION ÉLECTRIQUES.... 56

CHAPITRE VI.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES DE M. HARRIS SUR LES LOIS FONDAMENTALES DES ACTIONS ÉLECTRIQUES.

§ I. Description des appareils..... 63
§ II. Usage de la balance bifile..... 71
§ III. Du plan d'épreuve et de ses indications..... 75

CHAPITRE VII.

DE L'INDUCTION D'UN COURANT SUR LUI-MÊME OU A DISTANCE.

§ I. Circonstances qui exercent une influence sur l'induction d'un courant sur lui-même..... 87
§ II. Conditions qui exercent une influence sur la production des courants secondaires..... 90
§ III. De l'induction des courants secondaires à distance... 92
§ IV. Sur les effets d'induction produits par l'interposition de différentes susbstances entre les conducteurs..... 94
§ V. Sur la production et les propriétés des courants induits des 3e, 4e et 5e ordres..... 95
§ VI. Des courants induits de différents ordres produits au moyen de l'électricité ordinaire..... 100
§ VI *bis*. De l'induction des courants thermo-électriques... 106

CHAPITRE VIII.

DU POUVOIR INDUCTEUR DES DIÉLECTRIQUES..... 108

CHAPITRE IX.

DES CIRCONSTANCES QUI ACCOMPAGNENT LA DÉCHARGE ÉLECTRIQUE ENTRE DEUX CONDUCTEURS..... 122

CHAPITRE X.

DES RAPPORTS ENTRE L'INDUCTION, LA CONDUCTION ET LES DIVERSES CHARGES ÉLECTRIQUES.

Pages.
§ I. Conduction ou décharge conductive..... 130
§ II. Décharge électrolytique..... 133
§ III. Décharge de rupture..... 135
§ IV. Étincelle ou lumière électrique..... 142
§ V. De l'aigrette électrique..... 144
§ VI. Différence de décharge aux surfaces conductrices, positive et négative..... 149
§ VII. Décharge lumineuse..... 158
§ VIII. Décharge obscure..... 160
§ IX. Transport ou décharge de transport..... 162

LIVRE XIV.

DES DIVERSES PILES ET DE LEURS EFFETS PHYSIQUES ET CHIMIQUES.

CHAPITRE I.

DES DIVERSES PILES A COURANT CONSTANT.

§ I. Premières recherches..... 164
§ II. De la pile simple à dégagement d'oxigène, à courant constant..... 269
§ III. Développements relatifs aux décompositions chimiques opérées avec les appareils hydro-électriques simples..... 274

CHAPITRE II.

DES PLAQUES DE ZINC AMALGAMÉ.

§ I. Des propriétés du zinc amalgamé..... 277
§ II. Tentatives faites pour expliquer l'inactivité du zinc amalgamé..... 284
§ III. Action des oxacides concentrés sur des couples voltaïques composés d'un métal oxidable et d'un métal inoxidable..... 287
§ IV. Pile voltaïque construite d'après les principes exposés dans le chapitre Ier..... 292

CHAPITRE III.

PILE A COURANT CONSTANT DE M. DANIELL.

§ I. Premières dispositions..... 295

Pages.
§ II. Pile à courant constant..... 203
§ III. Influence de la chaleur sur l'action de la pile à courant constant..... 220

CHAPITRE IV.

DE LA PROPAGATION DES COURANTS ÉLECTRIQUES DANS LES LIQUIDES..... 225

CHAPITRE V.

DE LA FORCE CHIMIQUE DU COURANT ÉLECTRIQUE ET DE SES RAPPORTS AVEC LE MODE DE COMBINAISON DES CORPS DÉCOMPOSÉS.
§ I. Considérations générales..... 246
§ II. De la décomposition voltaïque opérée simultanément sur deux combinaisons mêlées ensemble..... 240
§ III. De la décomposition voltaïque opérée sur des combinaisons binaires du second ordre..... 242
§ IV. Du rapport qui existe entre l'action du courant et le nombre relatif des équivalents chimiques qui entrent dans la combinaison décomposée..... 244

CHAPITRE VI.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ VOLTAÏQUE SUR L'ESPRIT PYROLIGNEUX ET LES SOLUTIONS DANS L'EAU D'ALCOOL ET D'ÉTHER..... 248
§ I. Action des courants sur l'esprit pyroligneux..... 248
§ II. Action du courant voltaïque sur les solutions aqueuses d'hydracide ou de sels haloïdes..... 252
§ III. Action des courants sur les solutions alcooliques... 254
§ IV. De l'état des sels haloïdes dans leur dissolution dans l'eau..... 256

CHAPITRE VII.

DES MODIFICATIONS CHIMIQUES QU'ÉPROUVENT L'ACIDE NITRIQUE, L'ALCOOL, SOUS LA DOUBLE INFLUENCE DU COURANT VOLTAÏQUE ET DU PLATINE, ETC.?..... 262

CHAPITRE VIII.

DE LA POLARISATION ÉLECTRIQUE DES CONDUCTEURS SOLIDES ET LIQUIDES..... 268

CHAPITRE IX.

DES CAUSES QUI DÉTERMINENT L'UNIPOLARITÉ DANS CERTAINS CONDUCTEURS..... 276

FIN DE LA TABLE.